

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria electrònica industrial i automàtica

**DISSENY D'UNA ESTACIÓ PER AL MONITORATGE DE
VARIABLES AMBIENTALS**



Memòria i Annexos

Autor: Jordi Tarrats Galocha
Director: Francisco José Casellas Beneyto
Convocatòria: Maig 2018

Resum

En aquest projecte es realitzarà el disseny, la fabricació i la programació d'un enregistrator de dades (*datalogger*) que s'utilitzarà per a la mesura de variables ambientals. El sistema serà capaç de monitorar les variables següents: temperatura, humitat, velocitat i direcció del vent, pressió atmosfèrica i irradiància solar.

Com a microprocessador s'utilitzarà la Raspberry Pi 3 Model B per les seves prestacions, polivalència i cost. El programa principal es programarà en Python i per a dissenyar la PCB (*printed circuit board*) i crear els arxius de sortida per a la seva fabricació, l'Altium 2016.

La mateixa Raspberry allotjarà l'arxiu .csv amb totes les dades emmagatzemades per al seu posterior tractament. Per accedir a la Raspberry de forma remota i copiar les dades s'utilitzarà el programa Putty.

Tot i que a escala de programació i sensors el projecte només se centrarà en les variables ambientals, es dissenyarà una PCB amb la intenció que en un futur es pugui utilitzar per a connectar multitud de sensors tant analògics com digitals.

Resumen

Este proyecto se realizará el diseño, la fabricación y la programación de un registrador de datos (*datalogger*) que se utilizará para medir variables ambientales. El sistema será capaz de monitorizar las variables siguientes: temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica e irradiancia solar.

Como microprocesador se utilizará la Raspberry Pi 3 Modelo B por sus prestaciones, polivalencia y coste. El programa principal se programará en Phyton y para diseñar la PCB (*printed circuit board*) y crear los archivos de salida para su fabricación, se utilizará el programa Altium 2016.

La propia Raspberry alojará el archivo .csv con todos los datos almacenados para su posterior tratamiento. Para acceder a la Raspberry de forma remota y copiar los datos se utilizará el programa Putty.

Sin perjuicio de que, a nivel de programación y sensores, el proyecto sólo se centrará en las variables ambientales, se diseñará una PCB con la intención de que en un futuro se pueda utilizar para conectar multitud de sensores tanto analógicos como digitales.

Abstract

in this project we can see how it is done the design, manufacture and programming of a data logger that will be used to measure environmental variables. The system will be able to monitor the following variables: temperature, humidity, wind speed and direction, atmospheric pressure and solar irradiance.

The Raspberry Pi 3 Model B will be used as a microprocessor for its performance, versatility and cost. The main program will be programmed in Phyton. The program Altium 2016 will be used to design the PCB (printed circuit board) and to create the output files for its manufacture.

The Raspberry itself will host the .csv file with all the data stored for further processing. To access to the Raspberry remotely and copy the data, Putty program will be used.

Regarding programming and sensors, the project will be only focus on environmental variables. However, a PCB will be also designed with the intention that in the future it may be used to connect a multitude of analogue and digital sensors.

Agraïments

Aquest projecte no hauria sigut possible sense l'ajuda de diverses persones.

M'agradaria agrair al Professor Francisco Casellas la seva dedicació i orientació en els moments més difícils.

Sens dubte, a tots els companys i professors que m'han acompanyat durant tota la carrera.

A l'empresa Montajes Medyp, S.L., on treballo actualment, per disposar de les instal·lacions i maquinària que han permès portar a terme el projecte, en especial, la fabricació de la placa.

Per últim, m'agradaria donar les gràcies a la meva parella l'Ariadna per les hores invertides ajudant-me a redactar la memòria.



Glossari

- **Penell:** Aparell que serveix per assenyalar la direcció del vent mitjançant una fletxa que gira per l'acció del vent mitjançant un eix vertical.
- **PCB:** De les sigles en anglès *Printed Circuit Board*. És una placa on s'hi solden components electrònics. La base està construïda amb materials no conductors i per la superfície hi recorren pistes de material conductor com el coure per unir els diferents components.
- **BOM:** De les sigles en anglès *Bill Of Materials*. És un document que acostuma a estar en format PDF o en Excel que recull les posicions i les referències dels components que componen un circuit electrònic.
- **SMT:** De les sigles en anglès *Surface-Mount Technology*. És actualment la tecnologia per al muntatge de circuits electrònics més usada. Consisteix en col·locar els components a la superfície de la PCB a sobre d'uns *pads* conductors on s'hi solden els components mitjançant pasta d'estany.
- **THT:** De les sigles en anglès *Through-Hole Technology*. És una tecnologia per al muntatge de circuits electrònics que mitjançant forats passants a la placa s'insereixen i es solden els components. Cada vegada està més en desús i està sent substituïda per la tecnologia SMD.
- **PAD:** La seva traducció literal del anglès seria petjada. El *pad* és la superfície de coure en un circuit imprès que permet soldar a la placa els components electrònics. Cada component té el seu *pad* corresponent ja que la seva disposició de les potes no són iguals.
- **PWM:** De les sigles en anglès *pulse-width modulation*. Consisteix en modular la amplada del pols en una senyal quadrada o sinusoidal periòdica per poder regular la energia que rep el receptor.
- **VCC:** La V_{CC} és la tensió d'alimentació d'un circuit. En el cas d'aquest treball aquest voltatge serà de 5 V.
- **GND:** Provenient de la paraula en anglès *ground*. És refereix a tots els punts del circuit que estan connectats al negatiu de la font d'alimentació.

- **GERBER:** El GERBER és un format d'arxiu que conté tota la informació per a la fabricació d'una PCB.
- **Master:** Quan connectem dos o més dispositius electrònics mitjançant el port SPI o el I2C hi ha un d'ells que ha de marcar les normes de comunicació i l'ordre en que ho farà cada dispositiu. Aquest és anomenat Master.
- **Slave:** Quan connectem dos o més dispositius electrònics mitjançant el port SPI o el I2C els components que es subordinen al Master són els Slave o esclaus.

Llista de figures

Figura 2.1. Imatge del <i>datalogger</i> Ammonnit Meteo-40 (<i>Font: web d'Ammonnit</i>).	18
Figura 3.1. Imatge de la Raspberry Pi 3 Model B (<i>Font: web de Raspberry</i>).	20
Figura 3.2. Imatge de l'escriptori del SO Raspbian versió Pixel (<i>Font: web de Raspberry</i>).	20
Figura 3.3. Imatge de la PT1000 (<i>Font: Datasheet del fabricant</i>).	24
Figura 3.4. Imatge de l'anemòmetre i penell 7911 del fabricant Davis (<i>Font: web del fabricant</i>).	25
Figura 3.5. Imatge de l'ADS1115 (<i>Font: web d'Adafruit</i>).	25
Figura 4.1. Esquema del circuit realitzat amb Altium.	27
Figura 4.2. Esquema del connector J13 d'on s'obté totes les entrades i sortides de la Raspberry.	27
Figura 4.3. Esquema dels dos connectors RJ45 (S1, S3) i del connector RJ11 (S2).	28
Figura 4.4. Esquema de la font de corrent dissenyada per a obtenir els valors de temperatura mitjançant la PT100.	28
Figura 4.5. Esquema dels dos connectors del ADC_0 i el ADC_1 i del <i>driver</i> del ventilador L293DD.	29
Figura 4.6. Imatge de la protoboard amb un polsador i un potenciòmetre per simular el funcionament del penell i l'anemòmetre.	33
Figura 4.7. PCB definitiva del projecte en 2D amb totes les pistes ja realitzades. Línia d'alimentació seleccionada per a que ressalti.	34
Figura 4.8. PCB definitiva del projecte en 3D amb tots els components ja ubicats de forma correcta.	35
Figura 4.9. PCB definitiva del projecte en panells de 2 unitats.	36
Figura 4.10. Cadena de muntatge d'SMT. A l'esquerra de la fotografia la màquina de serigrafia, al mig 3 màquines de <i>pick and place</i> i al final de tot el forn (<i>Font: web Montajes Medyp</i>).	38

Figura 4.11. Components soldats d'SMT.	38
Figura 4.12. Placa acabada amb tots els components d'SMT i de THT soldats.	39
Figura 4.13. En la part superior de la imatge Raspberry de perfil amb la tira de pins modificada per a connectar-la amb la placa del projecte a la part inferior.	40
Figura 4.14. Sensors ja cablejats i instal·lats dins de dos caixes ABS.	40
Figura 4.15. Producte final ja acabat. A la part posterior es pot observar el ventilador i a través de la tapa transparent, la Raspberry.	41
Figura 4.16. Producte final ja acabat. A la part esquerra de la fotografia s'observen els connectors de la Raspberry i els connectors dels sensors. A la part de la dreta de la imatge la tira de bornes del fabricant Würth.	41
Figura 4.17. Gràfica de la intensitat en funció de la irradiància solar.	42
Figura 4.18. Gràfica del valor de l'ADC rectificat en funció de la temperatura.	46
Figura 5.1. Seqüència del programa per a la obtenció dels valors.	47
Figura 5.2. Valors obtinguts del programa.	53
Figura 5.3. Valors obtinguts del programa.	53

Llista de taules

Taula 3.1. Especificacions tècniques principals del sensor BMP280 (Font: web del fabricant BOSCH).	23
Taula 3.2. Especificacions tècniques principals del sensor DHT22 (Font: web del fabricant Adafruit).	23
Taula 4.1. Relació entre la caiguda de voltatge en la Rshunt i la sortida del ADC.	42
Taula 4.2. Relació entre el voltatge de fons d'escala i el valor del ADC.	44
Taula 4.3. Relació entre el voltatge de fons d'escala i el valor del ADC rectificat.	44
Taula 4.4. Relació entre la temperatura a la PT1000 i el valor del ADC rectificat.	45
Taula 5.1. Resultats obtinguts.	55

Índex

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRAÏMENTS	V
GLOSSARI	VII
LLISTA DE FIGURES	IX
LLISTA DE TAULES	XI
1. PREFACI	15
1.1. Origen del treball	15
1.2. Motivació	15
2. INTRODUCCIÓ	16
2.1. Objectius del treball	16
2.2. Abast del treball	17
2.3. Estat de l'art	17
3. PLANTEJAMENT DEL SISTEMA	19
3.1. Elecció del microprocessador	19
3.1.1. Configuració de la Raspberry	20
3.1.2. Connectivitat	21
3.1.3. CPU	22
3.1.4. Emmagatzematge de dades.....	22
3.1.5. Alimentació.....	22
3.2. Sensors	22
3.2.1. BMP280	22
3.2.2. DHT22	23
3.2.3. PT1000	24
3.2.4. Cèl·lula solar calibrada.....	24
3.2.5. Anemòmetre i penell.....	24
3.3. ADC.....	25
4. HARDWARE DEL REGISTRADOR DE DADES	26

4.1.	Disseny del circuit	26
4.1.1.	Elecció del programa	26
4.1.2.	Esquema del circuit	26
4.2.	Tecnologia a emprar	29
4.2.1.	Tecnologia THT	29
4.2.2.	Tecnologia SMT	30
4.2.3.	Circuits mixtes	30
4.3.	Components electrònics	30
4.3.1.	Connectors.....	30
4.3.2.	Resistències	31
4.3.3.	Resistència de <i>Shunt</i>	31
4.3.4.	Ventilador	32
4.3.5.	Amplificador operacional i referència de tensió.....	32
4.3.6.	<i>Driver</i> per al ventilador.....	32
4.4.	BOM.....	32
4.5.	Prototipatge	33
4.5.1.	FASE 1: <i>Protoboard</i>	33
4.5.2.	FASE 2: <i>Perfboard</i>	33
4.6.	Disseny de la PCB	34
4.7.	Fabricació de la PCB	35
4.7.1.	Especificacions de la PCB.....	36
4.8.	Muntatge del circuit.....	37
4.8.1.	Programació de màquines	37
4.8.2.	Serigrafia de la PCB.....	37
4.8.3.	Col·locació dels components.....	37
4.8.4.	Fornejat de les plaques	37
4.8.5.	Muntatge THT.....	38
4.8.6.	Verificació	39
4.9.	Producte final.....	40
4.10.	Càlculs.....	42
4.10.1.	Cèl·lula solar.....	42
4.10.2.	PT1000	44
5.	SOFTWARE: PROGRAMACIÓ EN PYTHON	47
5.1.	Inicialització de variables	47
5.2.	Obtenció de la temperatura en la PT1000	48
5.3.	Obtenció de la irradiància solar	49

5.4. Obtenció de la direcció del vent	49
5.5. Obtenció de la velocitat del vent	50
5.6. Obtenció de la temperatura i humitat de sensor DHT22	51
5.7. Obtenció de la temperatura i pressió del sensor BMP280	51
5.8. Control del ventilador en funció de la temperatura en la PT1000	52
5.9. Accions a realitzar en cas d'interrupció del teclat	52
5.10. Resultats	53
CONCLUSIONS	56
PRESSUPOST I/O ANÀLISI ECONÒMICA	57
BIBLIOGRAFIA	59
ANNEX A: BOM DEL PROJECTE	61
A1. Circuit Base	61
A2. Placa sensor BMP280	61
A3. Placa sensor DHT22	62
ANNEX B: COST DEL MATERIAL DEL PROJECTE	63
B1. Cost del material i del muntatge Circuit Base	63
B2. Cost del material i del muntatge placa sensor BMP280	63
B3. Cost del material i del muntatge placa sensor DHT22	64
ANNEX C: CODI ÍNTEGRE EN PYTHON	65
ANNEX D: MANUAL D'USUARI	68
ANNEX E: PLÀNOL DEL ESQUEMA DEL CIRCUIT	69

1. Prefaci

1.1. Origen del treball

Aquest treball sorgeix de la necessitat de dissenyar i fabricar un enregistrator de dades que estigui a l'abast de tothom. Neix amb la filosofia de fer-se amb programari obert de tal manera que qualsevol alumne que vulgui reproduir-lo o bé seguir evolucionant-lo en futurs projectes tingui totes les eines al seu abast.

L'enregistrament de dades no és nou. Quan no hi havia la tecnologia actual i els sensors eren analògics, fet que impedia l'emmagatzematge de les mesures, es realitzaven histogrames de la variable a mesurar en un rotlle de paper que anava avançant a velocitat constant. L'exemple clar seria el sismògraf inventat l'any 1842 pel físic Escocès James David Forbes. El paper avança alhora que l'agulla oscil·la en funció de les vibracions que percep el sistema, d'aquesta manera, en cas de terratrèmol revisant la gràfica es pot saber l'hora exacta i la seva magnitud. La tecnologia ha avançat moltíssim des d'aleshores i ara, mitjançant un *datalogger*, es poden enregistrar multitud de variables connectant múltiples sensors des d'acceleròmetres, fins a sensors d'efecte Hall per mesurar intensitats de forma indirecta.

1.2. Motivació

D'aquesta necessitat neix aquest projecte, crear un datalogger a un cost raonable amb un hardware que sigui polivalent per a innumerables aplicacions i amb una Raspberry com a microprocessador amb la possibilitat d'adaptar el programa a les necessitats de cadascú gràcies a ser de programari lliure.

2. Introducció

El monitoratge de variables ambientals és indispensable en molts àmbits. Quan es projecta un camp eòlic és importantíssim estudiar prèviament el terreny i la velocitat del vent en diferents punts. El principal objectiu és que no hi hagin zones on hi ha ràfegues de vent fortes ni d'altres on no bufa. Contràriament al que es creu si la velocitat del vent és excessiva, els molins eòlics no poden funcionar per seguretat. Si ens mantenim en l'àmbit de les energies renovables, per a la instal·lació de plaques fotovoltaïques és clau poder mesurar la irradiància solar que rebran els panells solars així com la temperatura, ja que d'ella dependrà el seu rendiment. L'agricultura, un sector clau en el nostre país, depèn totalment de les condicions atmosfèriques. Poder analitzar la temperatura, la humitat i la pluviometria seria de gran ajuda per als agricultors per plantar en els seus cultius les varietats dels vegetals que més s'adapten al clima de cada zona. Si fos possible la fabricació d'un enregistrator de dades que tingués un preu apte per al gran públic s'implementaria en la majoria de conreus de regadiu, ja que seria possible regular el reg en funció de la humitat de la terra amb l'estalvi en el consum d'aigua que suposaria i rebre alertes al mòbil quan la temperatura baixés dels 0 graus o quan bufes un fort vent que podria causar destrosses.

2.1. Objectius del treball

El principal objectiu del treball és el disseny i la posterior implementació d'una estació meteorològica. Aquesta estació serà en forma de *datalogger* per la infinitat d'opcions que ofereix a part de la mesura de variables ambientals. És realitzarà en codi obert i tindrà com a microcontrolador la Raspberry Pi, això permet futures ampliacions amb diferents sensors i una continuïtat en el treball. El concepte de codi obert és molt important ja que el projecte neix per a ser utilitzar per la universitat en futures aplicacions i poder realitzar modificacions en el programa és indispensable. Per poder assolir aquests objectius principals hi ha uns objectius secundaris que s'han de complir:

- Aprendre a utilitzar un programa professional de disseny de PCB.
- Dissenyar un circuit que permeti connectar la Raspberry amb els diferents sensors i afegir el *hardware* necessari per disposar d'entrades analògiques.
- Que el sistema disposi de sensors digitals i també analògics.
- Fabricar un *datalogger* que pugui satisfer la demanda del mercat a un preu raonable i que es pugui utilitzar per a diferents aplicacions. Tots els components que el composin així com la PCB i l'estany utilitzat haurà de complir la normativa RoHS [14].
- El projecte incorporarà l'anemòmetre i el penell per mesurar la velocitat i la direcció del vent, una cèl·lula solar per mesurar la irradiància solar i una PT1000 per mesurar temperatura. Aquests

components seran indispensables i els proporcionarà la universitat amb l'objectiu d'una futura implementació de la estació al terrat de la universitat.

- El producte resultant haurà de ser compacte, robust i fiable i s'ha de poder muntar en un carril DIN per a la seva posterior instal·lació en una caixa estanca. A causa de les altes temperatures que s'assoliran en els mesos d'estiu dins d'aquesta caixa el sistema disposarà d'un ventilador controlat pel microprocessador per a refrigerar.
- S'estudiarà la necessitat d'aplicar vernís a les plaques per prevenir-les de la corrosió.
- Tots els arxius necessaris per a la fabricació de la PCB i el llistat de materials del conjunt serà de domini públic amb l'objectiu que qualsevol persona que vulgui reproduir-lo sense ànim de lucre pugui fer-ho.
- Es farà un programa per a la Raspberry mitjançant Python per a obtenir i emmagatzemar les dades dels sensors. Mitjançant el programa Putty és podrà accedir a les dades per a un posterior tractament.

2.2. Abast del treball

Per poder assolir els objectius s'ha marcat un procediment a seguir:

- Es dissenyarà un circuit que permeti connectar diversos sensors a la Raspberry.
- El primer pas, un cop escollits els components electrònics, serà fabricar un prototip mitjançant una *perfboard* per a la comprovació del seu correcte funcionament.
- Si els resultats amb el prototip són satisfactoris mitjançant Altium es dissenyarà la PCB.
- Un cop verificat el disseny i obtinguts els arxius de sortida es fabricarà la PCB.
- Es fabricaran dos prototips definitius a tall de preserie per a detectar possibles millores en el disseny. Aquests inclouran components d'SMD i també THT.
- Una vegada es tinguin les dues unitats operatives es procedirà a la programació del *software* per a obtenir les dades dels diferents sensors.

2.3. Estat de l'art

Un dels errors més comuns és confondre una estació meteorològica domèstica que pot donar mesures instantànies de temperatura, humitat i pressió, amb un *datalogger*. Un enregistrator de dades permet emmagatzemar la informació de forma autònoma i connectar-hi infinitat de sensors tant analògics com digitals. Estan orientats dissenyat per a prendre mesures de tot tipus a part de la mesura de variables atmosfèriques, es poden trobar en aplicacions molt diverses i es poden dividir en dues famílies en funció de si tenen accés a internet o no.

A vegades els llocs on més interessa prendre mesures atmosfèriques són inhòspits, sense accés a internet i en nombroses ocasions no hi ha accés a la xarxa elèctrica per alimentar el sistema. Hi han *dataloggers* l'objectiu principal dels quals, és mesurar un seguit de dades i emmagatzemar-les però en cap cas s'hi podrà accedir remotament i l'única manera d'obtenir-les és anar físicament al dispositiu i descarregar-les. Una d'aquestes aplicacions més indispensables i que la gent ignora és a l'aviació civil. La caixa negra dels avions és un enregistrator de dades que guarda informació indispensable com converses entre els pilots i dades del vol per tal que, en cas d'accident es puguin esbrinar les causes. A la caixa negra no es pot accedir de forma remota i en cas d'accident pot estar dies transmetent la seva posició.

Un exemple de *datalogger* amb transmissió de dades a temps real el trobem en els cotxes de Fórmula 1. Disposen d'enregistradors de dades per recollir tota la telemetria del cotxe i retransmetre-la a temps real als enginyers.

Si ens centrem en la mesura de variables ambientals al mercat diversos fabricants de *dataloggers*, en aquest treball profunditzarem en el fabricant Ammonnit, ja que actualment la universitat EEBE té instal·lat i operatiu el model Ammonnit Meteo-40.

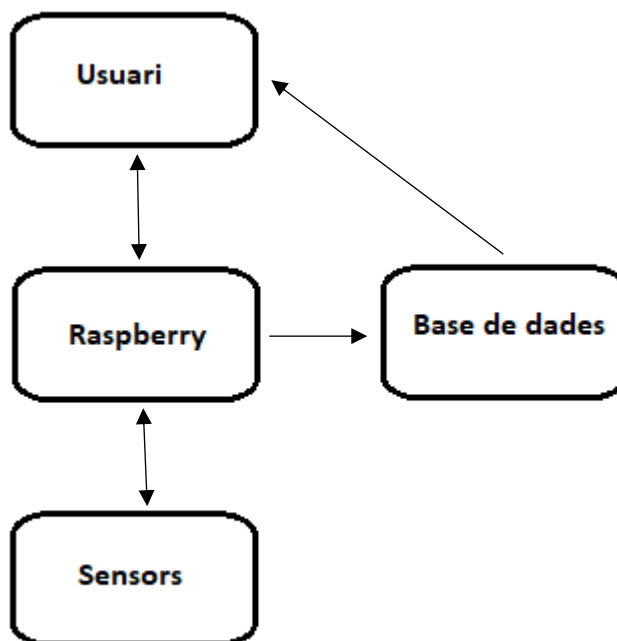
Ammonnit és un fabricant alemany que es va fundar l'any 1989 quan van crear el primer enginy capaç de recollir informació precisa sobre l'energia eòlica. La sèrie Meteo-40 és capaç de recollir dades de sensors tant analògics com digitals inclou connexió Ethernet i RS485. Gràcies al software AmmonnitOR es pot supervisar l'estació meteorològica des de qualsevol punt amb accés a internet. Disposa de fins a 35 entrades analògiques amb una resolució de 16 bits. El seu preu oscil·la entre els 1700€ i els 2400€.



Figura 2.1. Imatge del *datalogger* Ammonnit Meteo-40 (Font: web d'Ammonnit).

3. Plantejament del sistema

A continuació s'exposaran els diversos elements que componen el sistema i el motiu pel qual han sigut escollits.



3.1. Elecció del microprocessador

Una part vital del projecte és l'elecció del microprocessador a utilitzar. En els últims anys han aparegut multitud d'opcions en el mercat de plaques de desenvolupament. Les més conegudes, Arduino per la seva simplicitat i baix cost i Raspberry per la seva gran polivalència, potència de càlcul i la seva filosofia de programari lliure accessible a tothom. Entre aquestes dues opcions s'ha decidit utilitzar la Raspberry Pi 3 Model B, ja que tot i no disposar d'entrades i sortides analògiques disposa de *WIFI* i *Bluetooth* integrat, un microprocessador més potent i gràcies al seu sistema operatiu es pot programar amb l'única necessitat de connectar-la a un monitor.



Figura 3.1. Imatge de la Raspberry Pi 3 Model B (Font: web de Raspberry).

3.1.1. Configuració de la Raspberry

La primera tasca a realitzar a la Raspberry és instal·lar-hi el sistema operatiu Raspbian propi de Raspberry i basat en *LINUX*. Es tracta d'un sistema operatiu basat en finestres com podria ser *Windows* amb el valor afegit que es programari lliure. Raspbian ja inclou instal·lada l'aplicació de Python així que un cop instal·lat ja podem començar a programar.



Figura 3.2. Imatge de l'escriptori del SO Raspbian versió Pixel (Font: web de Raspberry).

Un cop instal·lat el sistema operatiu i abans de començar a fer proves amb els sensors s'han de configurar els diferents ports de la Raspberry que s'empraran.

3.1.2. Connectivitat

- **Port Ethernet:** La placa disposa de port Ethernet per connectar-se a internet per cable.
- **Wireless i bluetooth:** Gràcies a l'integrat BCM43438 es disposa de connexió LAN sense fils i *Bluetooth* de baix consum.
- **USB:** La Raspberry disposa de 4 ports USB 2.0 per connectar tota mena de perifèrics com teclat i ratolí així com memòries externes com els *pen drive* i els discs durs.
- **HDMI:** Permet connectar el circuit a qualsevol monitor que disposi d'aquesta entrada. A diferència del VGA convencional, l'HDMI és compatible amb l'alta definició.
- **Audio:** Disposa de sortida d'àudio *jack* de 3,5 mm.
- **CSI i DSI:** El port CSI és un port específic que permet connectar Raspberry a la Raspberry Pi Camera, en canvi al port DSI es pot connectar la pantalla TFT tàctil del mateix fabricant.
- **Port I2C:** De les sigles en anglès d' *Inter-Integrated Circuit*. Es tracta d'una comunicació síncrona i no simultània fet que no permet enviar i rebre informació alhora ja que utilitza un sol canal per a transmetre les dades. El seu ús està en augment ja que cada cop més sensors es connecten mitjançant aquest per la seva simplicitat. Per a un correcte funcionament només és necessari 2 pins: SDA (*Serial Data*, bus per a la transmissió de dades) i SCL (*Clock*, transmet les pulsacions del rellotge per la comunicació síncrona). Ambdues línies necessiten resistències de *pull-up* connectades a V_{DD} .
- **Port SPI:** El seu nom prové de les sigles en anglès de *Serial Peripheral Interface*. Juntament amb el port I2C és el sistema de comunicació més comú amb altres dispositius electrònics. Es tracta d'una comunicació síncrona i requereix de 4 pins: SCLK (*Clock*, transmet les pulsacions del rellotge per la comunicació síncrona), MOSI (*Master Output Slave Input*), MISO (*Master Input Slave Output*), SS/Select (Pin de selecció entre Master/Slave).
- **GPIO:** De les sigles en anglès, *General Purpose Input Output*. Són totes aquelles entrades i sortides digitals del microprocessador que no s'utilitzen per a altres funcions. Són molt útils

per a controlar processos com l'encesa o l'apagada de *leds* i el control amb PWM de la velocitat de motors de CC mitjançant *drivers*.

3.1.3. CPU

La placa munta el microprocessador BCM2837 de 64bit *Quad Core* del fabricant Broadcom amb una velocitat de fins a 1,2 GHz.

3.1.4. Emmagatzematge de dades

- **Memòria RAM:** De les sigles en anglès *Random Acces Memory*. Aquesta memòria es usada pel microprocessador per emmagatzemar dades temporals per l'execució de programes. Es pot dir que es volàtil ja que en apagar el dispositiu la informació és esborrada. En aquest cas la Raspberry disposa d'1 GB de memòria RAM.
- **Targeta micro SD:** És una unitat d'emmagatzematge externa. Serà on s'instal·larà el sistema operatiu i també on es guardaran tots els arxius de programa.

3.1.5. Alimentació

S'alimenta a 5 V mitjançant un port micro USB amb un consum màxim de 2,5 A .

3.2. Sensors

En aquest projecte es mesuraran un total de 9 variables atmosfèriques, 3 d'elles de temperatura. A continuació es detallarà per a cada sensor el motiu pel qual s'ha escollit i les variables a mesurar.

3.2.1. BMP280

Aquest sensor del fabricant Adafruit consta de l'integrat BMP280 de la marca *BOSCH* i del circuit d'acondicionament per connectar-lo mitjançant el port SPI o I2C de la Raspberry. És capaç de mesurar temperatura i humitat i ha estat escollit per la seva precisió. El fabricant Adafruit, a part de dissenyar i fabricar el circuit d'implementació necessari, també facilita al seu web les llibreries per obtenir les dades. A continuació es detallen les seves característiques principals:

Paràmetre	Dades tècniques
Rang de funcionament	Temperatura: -40 °C – 85 °C Pressió atmosfèrica: 300 hPa - 1100 hPa
Error absolut en la mesura	Temperatura: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ Pressió: ± 1 hPa
Temps d'adquisició	5,5 ms
Consum energètic en repòs	0,1 μA
Tensió d'alimentació	1,71 V – 3,6 V
Connectivitat	I2C i SPI

Taula 3.1. Especificacions tècniques principals del sensor BMP280 (Font: web del fabricant BOSCH).

3.2.2. DHT22

El DHT22 del fabricant Adafruit permetrà obtenir mesures de temperatura i d'humitat. És molt senzill de cablejar, ja que tan sols cal alimentar-lo a 5 V, connectar-lo a un pin GPIO qualsevol de la Raspberry i a GND. També serà necessària una resistència de pull-up de 10 K Ω entre la sortida del sensor i la massa.

Paràmetre	Dades tècniques
Rang de funcionament	Temperatura: -40 °C – 85 °C Humitat: 0 % - 100 %
Error en la mesura	Temperatura: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ Humitat: 2-5%
Freqüència màxima de mostreig	0,5 Hz (1 mostra cada 2s)
Consum energètic durant la conversió	0,1 μA
Tensió d'alimentació	3 V – 5 V
Connectivitat	GPIO

Taula 3.2. Especificacions tècniques principals del sensor DHT22 (Font: web del fabricant Adafruit).

3.2.3. PT1000

El sensor RTD escollit pel projecte és la referència DM-507 del fabricant LABFACILITY. Pot mesurar un rang de temperatures des de -50°C a 500°C , és de classe B i a 0°C té una resistència de $1000\ \Omega$. La PT1000 a diferència d'altres sensors resistius té la peculiaritat que la seva variació de la resistència en funció de la temperatura és lineal. Alimentar la RTD amb una font de corrent constant i mesurant la seva caiguda de tensió és una de les maneres més generalitzades d'obtenir la temperatura.



Figura 3.3. Imatge de la PT1000 (Font: Datasheet del fabricant).

3.2.4. Cèl·lula solar calibrada

Una cèl·lula solar calibrada és una cèl·lula de silici que quan es fa treballar en curtcircuit actua com una font de corrent en funció de la irradiància solar que actua sobre ella. La seva resposta és lineal i es mesurarà aquesta intensitat instal·lant una resistència de shunt. La cèl·lula solar que s'instal·larà la ven el distribuïdor ELEKTRON.

3.2.5. Anemòmetre i penell

Per a la mesura de la velocitat del vent i de la seva direcció és imprescindible un anemòmetre i un penell. Acostumen a anar junts en un mateix producte. En aquest projecte s'ha utilitzat la referència 7911 del fabricant Davis. Per a mesurar la direcció del vent l'equip disposa d'un potenciòmetre de $20\ \text{K}\Omega$ que varia la seva resistència de forma proporcional a la direcció del vent. Pel que fa a la velocitat el sistema té unes cassoles que giren per l'acció del vent. En cada rotació hi ha un contactor referenciat a GND que a cada revolució proporciona un "0" lògic a la entrada del microprocessador que l'haguem connectat.



Figura 3.4. Imatge de l'anemòmetre i penell 7911 del fabricant Davis (Font: web del fabricant).

3.3. ADC

Per a disposar d'entrades analògiques aquest projecte tindrà dos ADC. El component escollit és l'ADS1115. És connecta mitjançant el port I2C de la Raspberry. Té una resolució de 16 bits, 4 entrades i guany programable per poder obtenir un fons d'escala de fins a ± 256 mV.

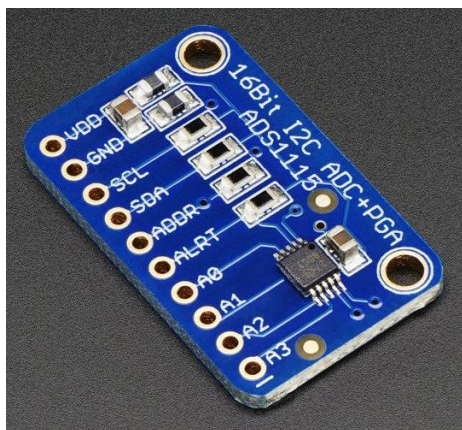


Figura 3.5. Imatge de l'ADS1115 (Font: web d'Adafruit).

4. Hardware del registrador de dades

4.1. Disseny del circuit

Un cop decidit l'abast del projecte i tots els components que hi muntarà es procedeix al disseny del circuit. Tal com s'especifica en els objectius del treball en cap moment s'ha buscat dissenyar un circuit específic per a la nostra aplicació. Per definició un *datalogger* ha de poder ser utilitzat per a diferents aplicacions. Com s'explicarà en detall en el punt 4.1.2.

4.1.1. Elecció del programa

Pel fet que la idea inicial era no només dissenyar el circuit i realitzar l'esquema, sinó també fabricar-lo, era important treballar des del principi amb un programa professional de disseny. El programa escollit és l'Altium Designer i la versió instal·lada la 16.0.6. Mitjançant les llibreries podem descarregar multitud de components ja creats o bé crear-los des de zero en una llibreria pròpia. Els components estan formats per 3 parts: la primera, el símbol que serà indispensable a l'hora de realitzar l'esquemàtic, en segon lloc, el *pad* del component necessari per a fabricar la PCB i per últim, el model 3D del component. Altium permet treballar en 3D cosa que resulta molt útil a l'hora de distribuir de manera adequada els components a la PCB.

4.1.2. Esquema del circuit

El programa que s'ha utilitzat és bastant intuïtiu. Degut a l'elevat nombre de connexions a l'hora d'unir els terminals dels diferents components s'ha optat per crear etiquetes dels diferents busos. D'aquesta manera, el programa estableix una connexió física entre els diferents pins que tenen la mateixa etiqueta i no és necessari tirar línies.

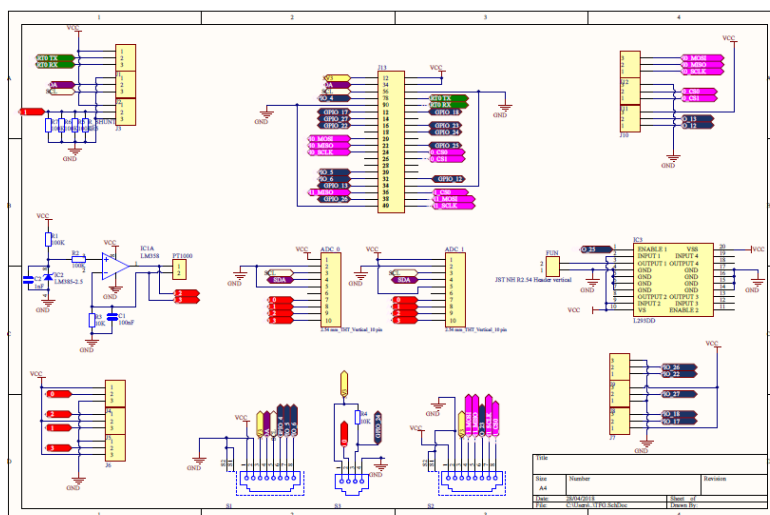


Figura 4.1. Esquema del circuit realitzat amb Altium.

Com es pot veure en la figura 4.1 la part central del nostre disseny és un connector de 2X20 pins on anirà connectada la Raspberry. Era important no deixar cap pin de la Raspberry sense connectar, ja que a posteriori no s'hi podria accedir còmodament. Als quatre extrems de l'esquema hi han les bornes on es fa arribar tots els ports de la Raspberry que no s'utilitzen per al projecte.

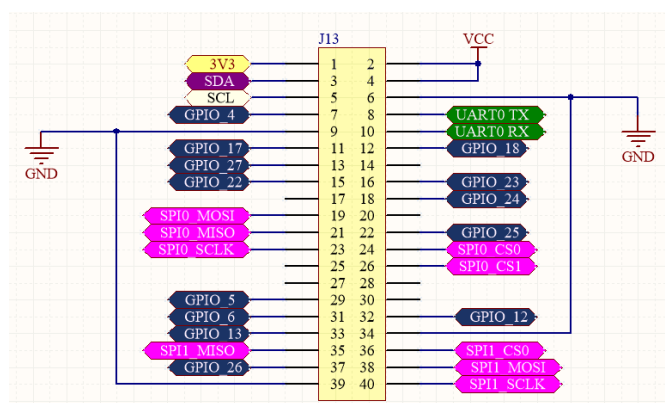


Figura 4.2. Esquema del connector J13 d'on s'obté totes les entrades i sortides de la Raspberry.

En la part inferior de l'esquema hi trobem els dos connectors RJ45 on es connectaran els 2 sensors i el RJ11 on anirà connectat l'anemòmetre. El connector RJ11 ve imposat pel fabricant i per la seva configuració no podrà ser utilitzat per a cap altra aplicació. Com es pot observar els dos connectors RJ45 no estan cablejats de la mateixa manera. Amb la limitació dels 8 busos dels quals disposa aquest tipus de connector es va optar per a distingir entre dos tipus de sensors a connectar:

- El connector S1 està dissenyat per a poder connectar tot tipus de sensors que es comuniquin per I2C. També es disposarà del GPIO 4, 5 i 6 per si es necessités fer ús d'entrades i sortides digitals.
- El connector S3 està dissenyat per a poder connectar aquells sensors que es comuniquin per SPI. En el cas del nostre projecte només s'utilitzen sensors per I2C però mitjançant aquest port connectem el sensor DHT22 que només requereix un GPIO en aquest cas el 23.

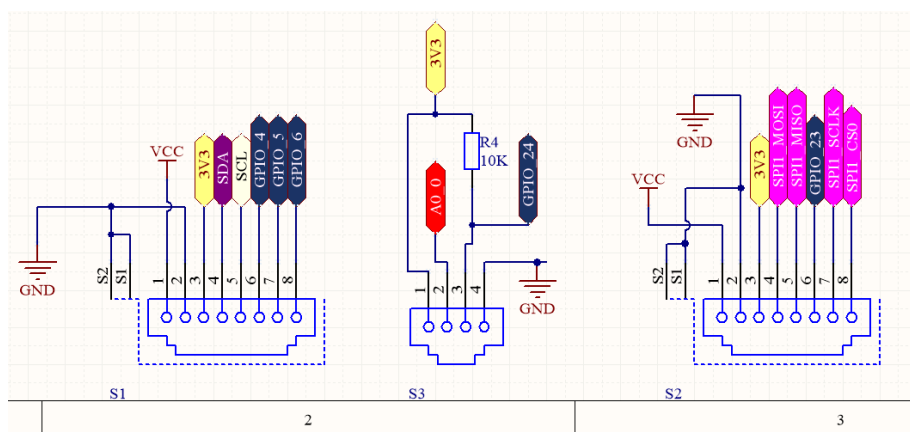


Figura 4.3. Esquema dels dos connectors RJ45 (S1, S3) i del connector RJ11 (S2).

Com es pot observar a la figura 4.3 els 3 primers pins dels connectors S1 i S3 coincideixen. Això té una explicació i és que donat que té l'alimentació i el GND en els mateixos ports, en el cas que es connectés un sensor amb comunicació I2C en el port per a sensors amb comunicació SPI aquest, evidentment, no funcionaria, però en cap cas podria curtcircuitar el sensor, fet que podria causar danys tant en el mateix sensor com en la Raspberry.

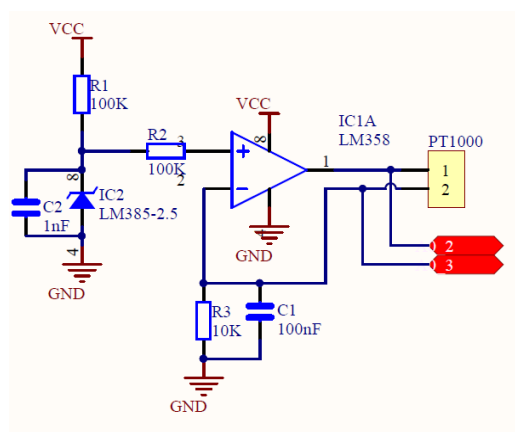


Figura 4.4. Esquema de la font de corrent dissenyada per a obtenir els valors de temperatura mitjançant la PT100.

Per poder mesurar la variació de la resistència en una RTD és necessari dissenyar una font de corrent. D'aquesta manera amb una intensitat coneguda la caiguda de tensió en la PT1000 serà proporcional a la seva resistència. Mitjançant l'amplificador operacional LM358 i la referència de tensió LM385-2.5 de 2,5 V, s'ha dissenyat el circuit de la figura 4.4. La intensitat que recorrerà la PT1000 serà igual a la tensió de referència dividit entre el valor de R3 en el nostre cas 250 uA.

Per finalitzar només queda parlar dels connectors per als ADS1115 i del driver del ventilador. Els ADC escollits per al projecte es comunicaran a la *Raspberry* mitjançant el port I2C. Estan alimentats a 5 V i ambdós tenen 4 entrades analògiques amb una resolució de 16bit i guany programable. Per a poder connectar fins a 4 ADC aquests tenen un pin de selecció el número 5 que en funció de si està connectat a Vcc, GND, SDA o SCL l'integrat ocupa una adreça diferent dins el port I2C. L' ADC_0 serà utilitzat exclusivament per a mesurar els valors necessaris per al projecte, en canvi, l'ADC_1 totes les seves entrades es connectaran a les bornes per a una futura utilització.

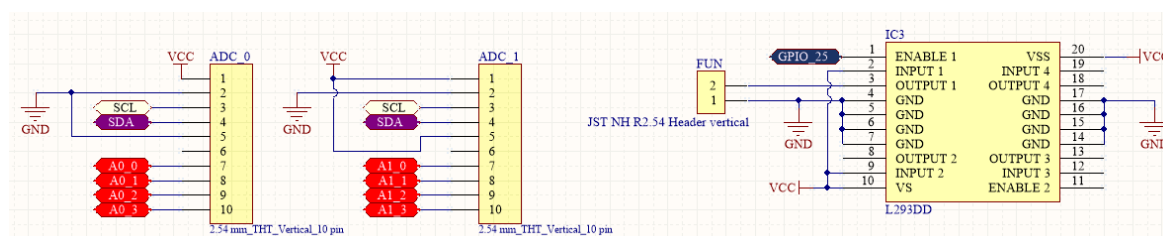


Figura 4.5. Esquema dels dos connectors del ADC_0 i el ADC_1 i del driver del ventilador L293DD.

S'ha escollit el driver L293DD, ja que mitjançant un PWM en el pin de l'ENABLE es pot modificar la velocitat de rotació del ventilador. Aquest integrat permet connectar fins a dos motors i controlar el sentit de gir mitjançant el pont en H. Com el nostre cas el ventilador només pot girar en un sentit no s'utilitzarà aquesta funció i de les 4 sortides del xip només s'aprofitarà una.

4.2. Tecnologia a emprar

Un cop s'ha realitzat l'esquema del circuit s'haurà de definir quin tipus de components s'utilitzaran. Depenent de les limitacions tecnològiques que es tinguin s'ha d'optar per tecnologia THT (*Through-Hole Technology*) o SMT (*Surface-Mount Technology*).

4.2.1. Tecnologia THT

Aquesta tecnologia en el món de l'electrònica està cada vegada més en desús, el seu principal inconvenient és la mida dels components que per norma general són més grans. Tot i això, en aplicacions específiques com equips de potència encara s'utilitza, ja que no hi ha una limitació tant

gran de dimensions i certs components com condensadors electrolítics de gran capacitat no estan disponibles en SMT. Es caracteritza en què els components són inserits i soldats mitjançant forats passants. Per altra banda és molt adequada per a petites aplicacions o treballs acadèmics, ja que qualsevol persona amb coneixements bàsics de soldadura i amb un simple soldador pot realitzar els seus propis muntatges.

4.2.2. Tecnologia SMT

La tecnologia SMT ha estat un revulsiu en el món de l'electrònica. Se serigrafien les PCB amb pasta de soldadura i els components són col·locats per màquines de *pick and place* a sobre dels seus *pads* corresponents. Un cop tots els components estan situats en la seva posició i amb la polaritat correcta, la placa passa per dins d'un forn que fon l'estany i solda els components. Això ha permès reduir molt la mida dels components, tant passius com integrats. El principal inconvenient d'aquesta tecnologia és que els components com més petits són menys potencia suporten i tot i que el cost de produir és més reduït la despesa inicial en programació de màquines fa que petites sèries resultin molt cares. Si s'escullen components d'encapsulats prou grans, és possible soldar els components a mà però el resultat final no serà igual.

4.2.3. Circuits mixtes

Tot i que les dues tecnologies estan molt definides a efectes pràctics, en molts circuits s'utilitzen les dues tecnologies de manera simultània. Per norma general, en aquests casos primer es munta la part d'SMT i en segon lloc, els components THT. Aquest ordre té una explicació molt senzilla i és que els components de THT no suportarien la temperatura del forn.

4.3. Components electrònics

A continuació es detallaran els diferents components que s'han muntat i el motiu pel qual s'han escollit.

4.3.1. Connectors

Els connectors permeten interconnectar la placa del projecte amb la Raspberry i amb els diferents sensors. S'ha optat per afegir al disseny bornes i fer arribar tots aquells ports que no s'utilitzen per a futures aplicacions així com 5V i GND en diversos punts. Tots els connectors es compraran del fabricant alemany Würth EleKtronik, ja que fa productes de gran qualitat i assegurarà un correcte funcionament tot i el pas del temps i el seu ús.

- **RJ45:** Permet connectar el sensor DHT22 i el BMP280 amb la placa mare. S'ha escollit la referència 615008143521.
- **RJ11:** Aquest és imprescindible per connectar l'anemòmetre i el penell, ja que la sortida de 4 fils porta aquest tipus de connector. Es muntarà la referència 615004143821.
- **Tira de pins:** En primer lloc es necessitarà una tira de pins doble de 2X20 per connectar els 40 pins que surten de la Raspberry. També seran necessaris 2 connectors d'1X10 pels ADS1115 i un d'1X2 per a la PT1000.
- **Bornes:** Un dels components més importants són les bornes, ja que a diferència d'altres connectors aquestes patiran més desgast a causa del seu major ús. Per la seva robustesa s'ha escollit la referència 691236510003.

4.3.2. Resistències

Totes les resistències necessàries es muntaran d'SMT. S'ha optat per un encapsulat 0805, ja que tot i ser més petites que les de THT, aquestes es poden substituir amb un soldador convencional. Actualment, pràcticament no hi ha diferència de preu entre muntar resistències de tolerància 5% o muntar-les de l'1% així que totes les resistències del projecte son de l'1%.

4.3.3. Resistència de *Shunt*

En aplicacions on és necessari mesurar la intensitat que recorre un circuit és imprescindible la utilització d'una resistència de *Shunt*. Aquestes tenen com a característica principal un valor *Ohmic* molt petit per no afectar el comportament del circuit i per norma general són capaces de dissipar més potència, ja que la intensitat que les recorre pot ser des de pocs mA fins a desenes d'amperes si el que es vol és mesurar per exemple el consum d'un motor de Corrent Contínuu.

Per a mesurar la irradiància solar amb la cèl·lula solar calibrada, és necessari fer treballar aquesta en curtcircuit. S'uniran els dos extrems de la cèl·lula amb una resistència de *Shunt* que com es demostrarà en l'apartat de càlculs haurà de ser de 0R119. Per trobar en el mercat aquests valors poc comuns s'han de buscar en encapsulats grans com el 2512. En el projecte es muntarà una resistència de 0R12 d'1W i encapsular 2512, en paral·lel a aquesta hi aniran 3 resistències més amb encapsulat 0805 per aproximar-se encara més al valor teòric.

4.3.4. Ventilador

A causa de les altes temperatures que es podrien assolir dins la caixa estanca quan l'enregistrador de dades estigui instal·lat a la intempèrie, s'ha cregut necessari incorporar al disseny un ventilador perquè pugui expulsar a l'exterior l'aire calent quan la temperatura comenci a pujar a valors perillosos. Aquest estarà alimentat a 5V CC i mitjançant un control PWM es podrà regular la seva velocitat amb un *driver* que exposarem més endavant.

4.3.5. Amplificador operacional i referencia de tensió

Com s'ha vist en el punt 3.2.3 és necessari crear una font de corrent per a obtenir la caiguda de tensió en la PT1000. Per a realitzar-la s'utilitzarà l'amplificador operacional LM358 amb encapsulat SOIC-8 del fabricant STMicroelectronics. És ideal per a circuits d'aquestes característiques, ja que la seva alimentació són 5V i no necessita alimentació negativa sinó que es connecta a GND.

Per altra banda, és imprescindible una referència de tensió per a realitzar una font de corrent mitjançant operacionals. En aquest cas, la referència escollida és l'LM385-2.5 amb encapsulat SOIC-8.

4.3.6. Driver per al ventilador

Una excessiva temperatura és perjudicial per als circuits electrònics. Per evitar aquest fenomen, el sistema incorporarà un ventilador per a refrigerar. Com no es volia un control de tot o res, la solució d'un transistor *Darlington* activat per una sortida del microprocessador no era una opció. Era necessari doncs afegir a la placa un *driver* que aplicant un PWM al pin de l'*Enable* es pogués controlar la velocitat d'aquest. Tot i que no s'utilitzarà tot el seu potencial l'L293DD amb un encapsulat SOIC-20 complirà perfectament aquesta funció.

4.4. BOM

Un cop es té l'esquema del circuit i s'ha decidit els components que es muntaran és necessari crear la BOM o llistat de material. Aquesta és imprescindible dins la documentació del projecte, ja que en ella s'especifiquen les posicions de la PCB on aniran els components, la seva descripció i la referència del fabricant. Mitjançant el llistat de materials, qualsevol empresa que s'hi dediqui i sabent prèviament les característiques del circuit podrà cotitzar la fabricació del muntatge per a les diferents quantitats requerides. La BOM del projecte es pot trobar en l'Annex 1 de la memòria.

4.5. Prototipatge

En tot projecte abans de la fabricació del model definitiu hi ha la fase de prototipatge. En el cas en concret del *datalogger* era imprescindible poder fer proves amb els sensors, de manera que el sistema fos robust i no tinguessin cabuda els errors per fals contacte. Era necessari doncs, fabricar un prototip amb l'aparença del producte final però que només incorporés les connexions imprescindibles. A continuació s'exposarà el mètode emprat en cada fase del prototipatge del projecte.

4.5.1. FASE 1: *Protoboard*

En la part inicial del projecte es va anar provant els sensors un per un a la *protoboard*. La *protoboard* o placa de proves és una placa reutilitzable que consisteix en una base de plàstic amb multitud de forats on inserir components interconnectats entre si en horitzontal. En els dos extrems verticals hi han dues columnes interconnectades per a tenir Vcc i GND allà on sigui necessari. S'utilitza molt per la facilitat i la polivalència que ofereix en tant que no és necessari soldar els components. Per altra banda, amb el pas del temps és possible que els contactes interns comencin a tenir joc i això provoca en certes ocasions males connexions.

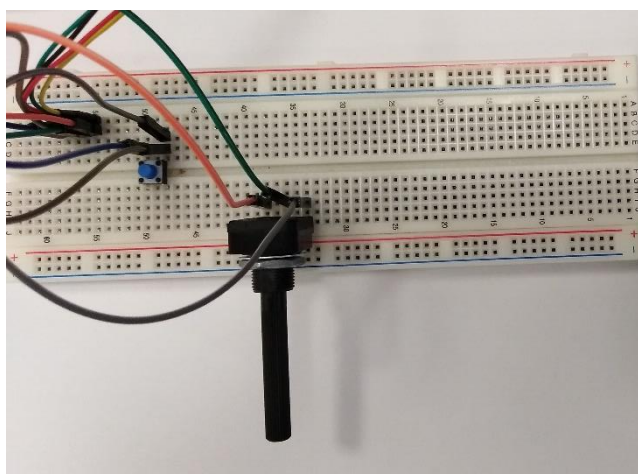


Figura 4.6. Imatge de la *protoboard* amb un pulsador i un potenciòmetre per simular el funcionament del penell i l'anemòmetre.

4.5.2. FASE 2: *Perfboard*

Un cop testejats tots els sensors per separat, era necessari trobar una manera fiable d'interconnectar els diferents components que formen l'enregistrador de dades. La base escollida per a fer-ho va ser la *perfboard* o més coneguda popularment com a "PCB de topos". Consisteix en una base de fibra de

vidre o baquelita que en la part inferior té un seguit de quadrats generalment de coure amb un forat passant en el mig d'aquests. Els forats passants són necessaris per inserir els components de THT i estan separats entre ells a una distància estandarditzada de 2,54mm. Gràcies a la interconnexió mitjançant estany dels *pads* de coure, es poden crear pistes per connectar els diferents components. A diferència de la *protoboard*, la *perfboard* és definitiva i si la soldadura està ben feta, aguantarà l'ús continuat i el pas del temps.

4.6. Disseny de la PCB

Un cop l'esquema ha estat verificat és l'hora d'exportar els canvis al arxiu PcbDoc. Apareixeràn tots els components units entre si per línies i la mida de la PCB predeterminada. El primer doncs és determinar l'àrea que ocuparà el nostre circuit creant un polígon i especificant que sigui el contorn del nostre circuit. Degut a les limitacions d'espai la nostra PCB mesurarà 103X85 mm, d'aquesta manera tot el conjunt de la placa amb la Raspberry connectada i el ventilador es podrà fer encabir en una caixa de carril DIN estàndar.

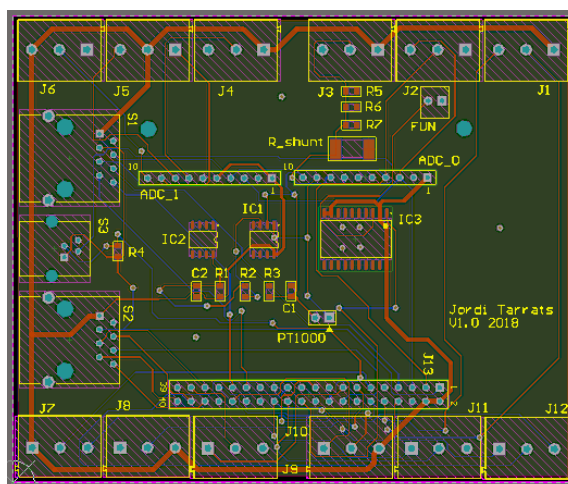


Figura 4.7. PCB definitiva del projecte en 2D amb totes les pistes ja realitzades. Línia d'alimentació seleccionada per a que ressalti.

Un cop tots els components estan ubicats a la posició correcta s'han de començar traçar les vies. El programa disposa de la funció *Autoroute* però aquesta no és recomanable utilitzar-la de bon començament ja que hi ha un ordre per a fer-ho correctament:

- El primer pas es traçar tota la línia d'alimentació. Aquesta com es pot observar a la figura 4.7 és més ampla que la resta ja que haurà d'alimentar tots els integrats i futurs dispositius que es connectin a les bornes. Es traçarà manualment.

- En segon lloc tracem la resta de línies de senyal. En aquest pas ens podem ajudar de la funció *Autoroute* però només si fem cada línia per separat i comprovem una que el programa hagi realitzat la funció correctament. Si hi hagués alguna línia que no passa pel lloc desitjat és tant senzill com seleccionar-la i moure-la.
- Un cop ja estan tots els components alimentats de forma correcta i les línies de senyal tirades només ens queda connectar tots els components al pla de GND. Per al pla de GND és crea un polígon per la cara TOP i un altre a la cara BOT que ocupa tots els espais que no hi ha ni forats passants ni pistes i aquests s'especifiquen que estan connectats a massa. D'aquesta manera els pins de GND que quedaven al aire es connecten automàticament a aquests polígons.

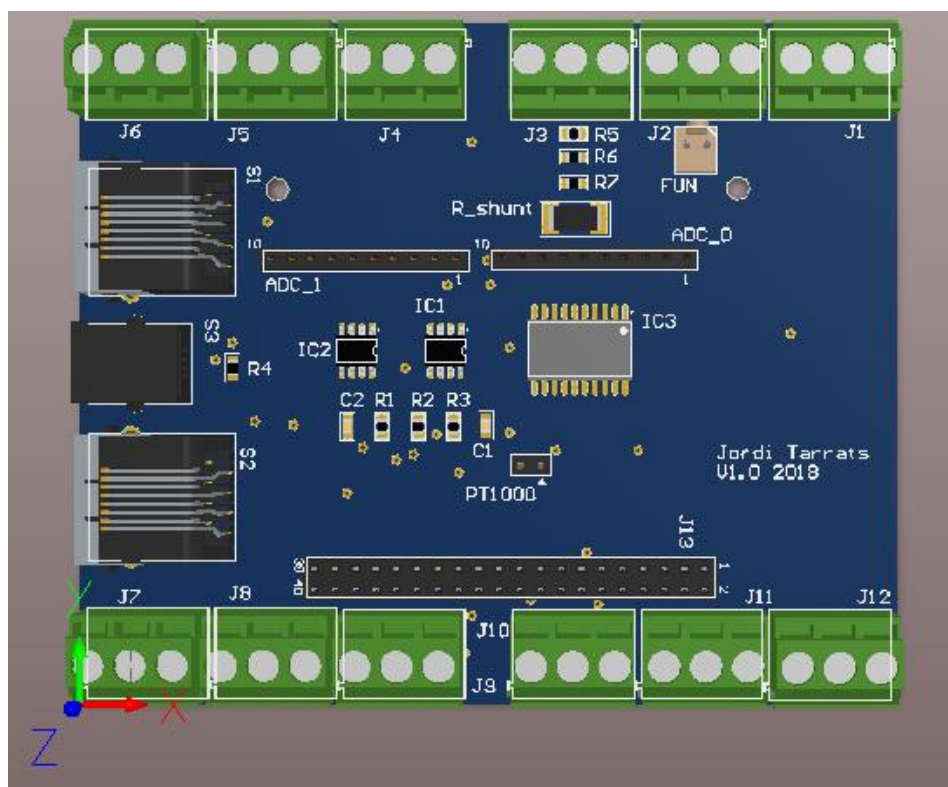


Figura 4.8. PCB definitiva del projecte en 3D amb tots els components ja ubicats de forma correcta.

4.7. Fabricació de la PCB

Un cop finalitzat el disseny de la PCB i modificats els possibles errors un cop executat el *Design Rule Verification Report* és l'hora de crear tots els arxius de sortida o GERBER per a poder fabricar la PCB. La PCB d'aquest projecte serà fabricada per Safe PCB.

4.7.1. Especificacions de la PCB

Abans de fabricar s'ha d'especificar en el programa les característiques que tindrà la PCB. La del projecte tindrà les següents especificacions:

- Gruix del coure: 35 μm .
- Gruix de la PCB: 1,6 mm.
- Acabat del metal·litzat: bany químic.

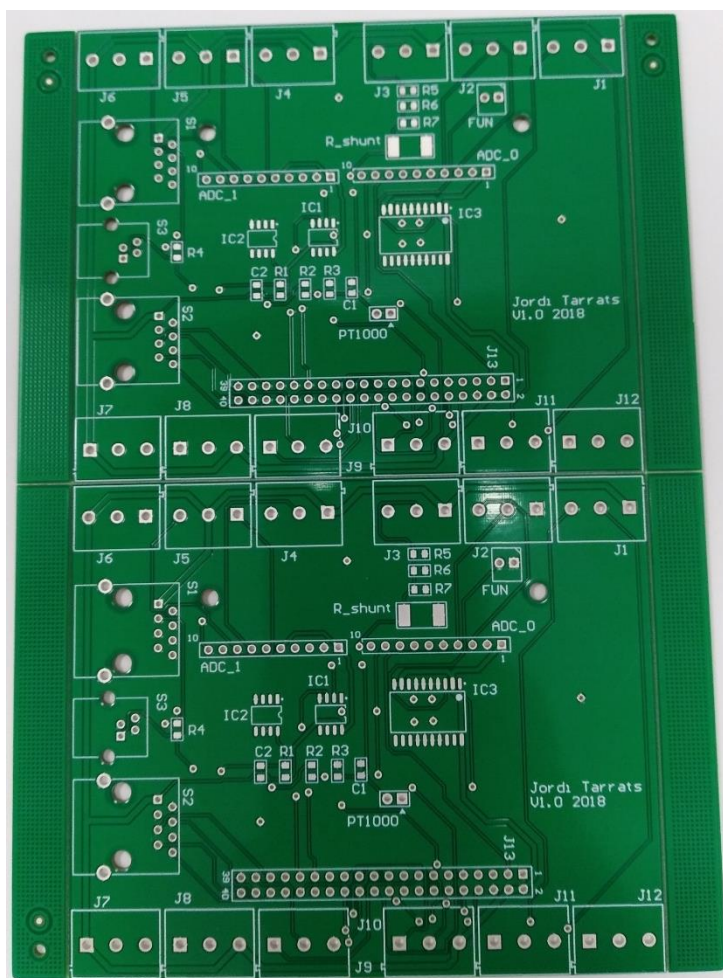


Figura 4.9. PCB definitiva del projecte en panells de 2 unitats.

4.8. Muntatge del circuit

4.8.1. Programació de màquines

Quan un circuit té components d'SMT el primer pas és programar les màquines de *pick and place*. Per a circuits amb molts components aquesta acció es fa mitjançant l'arxiu de sortida *pick and place* que té un format *.txt*. En aquest cas al només portar 8 components s'ha programat de forma manual in situ a la màquina.

4.8.2. Serigrafia de la PCB

Un cop les màquines de *pick and place* estan programades les PCB s'introdueixen per l'inici de la cadena de producció. El primer pas es serigrafiar-les mitjançant la màquina de serigrafiar. Aquesta subjecta la PCB alhora que fa baixar la pantalla de serigrafia. La pantalla de serigrafia és una làmina metàl·lica molt fina muntada en un marc d'alumini que té el negatiu de la PCB. Un braç escampa per sobre de la pantalla una capa de pasta de soldadura i com que aquesta només té orificis en els *pads* dels components només diposita estany allà on pertoca.

4.8.3. Col·locació dels components

Un cop les PCB disposen de pasta de soldadura en els *pads* dels components aquestes passen a les màquines de *pick and place* on un braç robòtic cartesià col·loca els components mitjançant els seus terminals pneumàtics.

4.8.4. Fornejat de les plaques

Per finalitzar les plaques passen pel forn que fon l'estany i solda els components. Aquest té unes zones d'escalfament i unes zones de refredament fet que permet canviar el perfil de temperatura dins del forn en funció de la classe de components que s'hi solden.



Figura 4.10. Cadena de muntatge d'SMT. A l'esquerra de la fotografia la màquina de serigrafia, al mig 3 màquines de *pick and place* i al final de tot el forn (Font: web Montajes Medyp).



Figura 4.11. Components soldats d'SMT.

En la figura 4.11 es pot veure el resultat final del muntatge d'SMT.

4.8.5. Muntatge THT

Un cop els components SMT han sigut soldats ja només queda col·locar manualment tots els connectors THT i amb el soldador soldar un per un tots els *pads*. En aquest cas només s'han muntat

dos plaques i no seria rentable però per series llargues es podria programar la maquina de soldadura selectiva i soldar la part de THT també de manera automàtica.

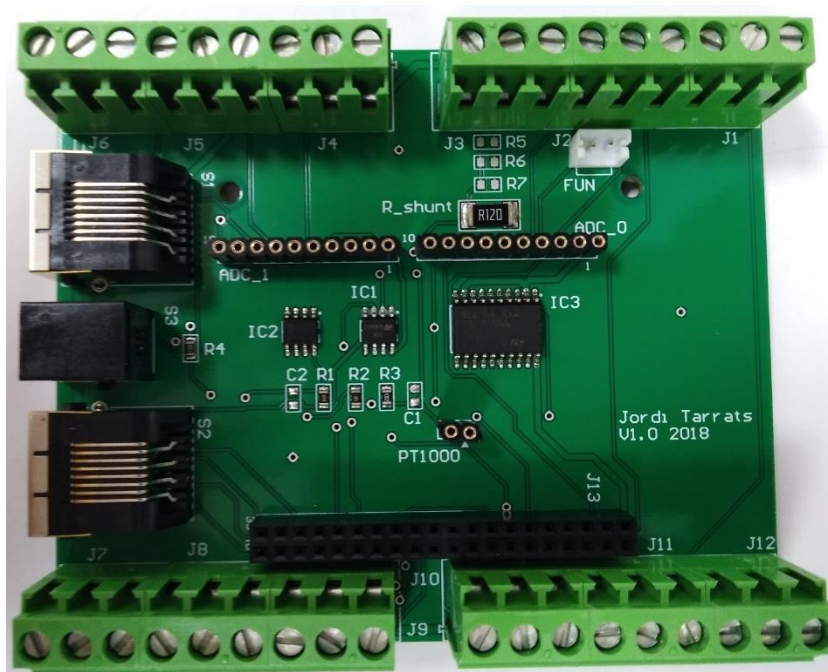


Figura 4.12. Placa acabada amb tots els components d'SMT i de THT soldats.

4.8.6. Verificació

Per últim només queda connectar tots els sensors i comprovar el seu correcte funcionament. Després de connectar tots els sensors s'ha verificat que la PCB funcionava correctament així que no serà necessari realitzar modificacions ni tornar-les a fabricar.

4.9. Producte final

Un cop perforada la caixa per a carril DIN per a que els diferents connectors de la Raspberry quedin accessibles ja tenim el producte final acabat. També s'han instal·lat els sensors en caixes ABS per resistir les inclemències del temps.



Figura 4.13. En la part superior de la imatge Raspberry de perfil amb la tira de pins modificada per a connectar-la amb la placa del projecte a la part inferior.

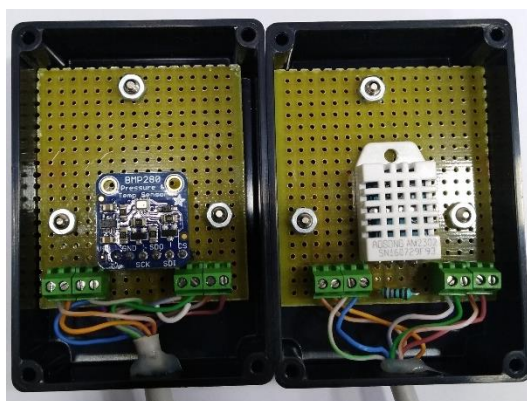


Figura 4.14. Sensors ja cablejats i instal·lats dins de dos caixes ABS.



Figura 4.15. Producte final ja acabat. A la part posterior es pot observar el ventilador i a través de la tapa transparent, la Raspberry.



Figura 4.16. Producte final ja acabat. A la part esquerra de la fotografia s'observen els connectors de la Raspberry i els connectors dels sensors. A la part de la dreta de la imatge la tira de bornes del fabricant Würth.

4.10. Càlculs

4.10.1. Cèl·lula solar

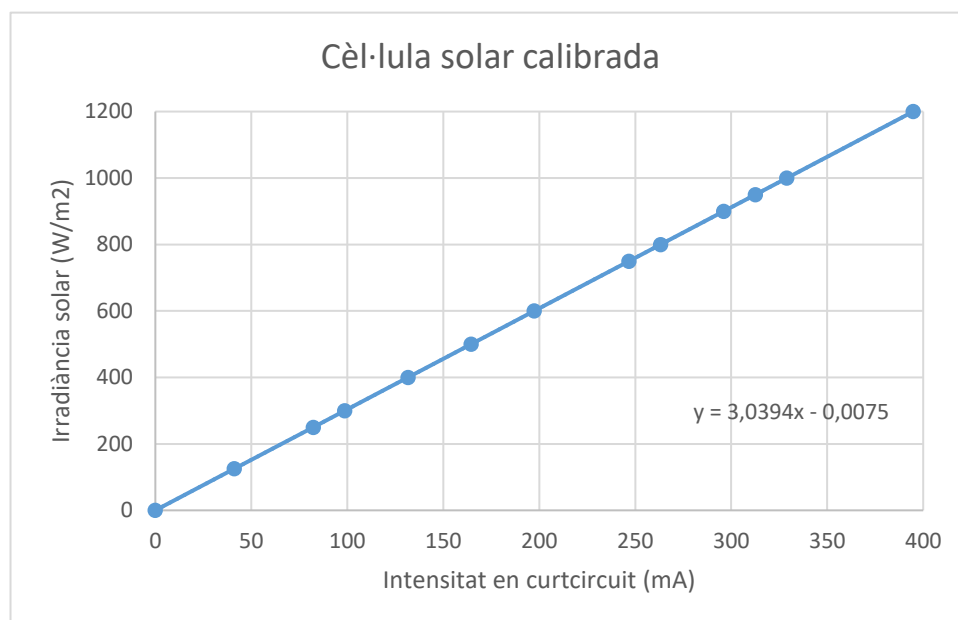


Figura 4.17. Gràfica de la intensitat en funció de la irradiància solar.

$$W/m^2_{M\acute{a}x}=1200 W/m^2$$

$$I_{M\acute{a}x}= 394,8 \text{ mA}$$

Tenint en compte que la irradiància solar màxima que es mesurarà és de $1200 W/m^2$, amb una resolució de $0,1 W/m^2$, s'escollirà la R_{shunt} adequada per tal que cada bit de resolució de l'ADC sigui $0,1 W/m^2$. L'ADS115 té una resolució de 16 bits i seleccionant el guany programable a 16 podria mesurar de 0V a 256 mV. Sabent això, es pot calcular la R_{shunt} trobant la caiguda de tensió a la resistència:

Voltatge (mV)	Sortida ADC
256	65536
V _{máx}	12000

Taula 4.1. Relació entre la caiguda de voltatge en la R_{shunt} i la sortida del ADC.

$$Vm_{\max} = \frac{256 \cdot 12000}{65536} = 46,875 mV \quad (1)$$

Un cop s'ha obtingut la caiguda de tensió màxima que hi haurà a la resistència, es pot calcular la R_{Shunt} :

$$R_{\text{Shunt}} = \frac{Vm_{\max}}{Im_{\max}} = \frac{46,9 mV}{394,8 mA} = 118,8 m\Omega \cong 119 m\Omega \quad (2)$$

El valor comercial que més s'aproxima és 0,12 Ω . Aquesta resistència serà d'un encapsulat 2512 i 1 W de potència. Amb la finalitat d'obtenir un valor més pròxim encara en el disseny de la PCB es van afegir 3 resistències amb encapsulat 0805 en paral·lel a la R_{Shunt} :

$$\frac{1}{R_{\text{Shunt}}} = \frac{1}{R_{\text{SHUNT}}} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_7} \quad (3)$$

A l'equació anterior és important diferenciar la R_{Shunt} , que és el valor teòric que es vol obtenir, amb l'associació en paral·lel de 4 resistències amb la posició R_{SHUNT} corresponent a la resistència 0,12 Ω .

Es resol mitjançant iteració, ja que per cada valor teòric de les resistències obtingut mitjançant l'equació anterior, s'ha de trobar en cada cas un valor comercial i calcular de nou la resta:

$$\frac{1}{R_{\text{Shunt}}} = \frac{1}{R_{\text{SHUNT}}} + \frac{1}{R_5} \rightarrow \frac{1}{0,119} = \frac{1}{0,12} + \frac{1}{R_5} \rightarrow R_5 = 14,28 \Omega \cong 15 \Omega \quad (4)$$

$$\frac{1}{R_{\text{Shunt}}} = \frac{1}{R_{\text{SHUNT}}} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} \rightarrow \frac{1}{0,119} = \frac{1}{0,12} + \frac{1}{15} + \frac{1}{R_6} \rightarrow$$

$$R_6 = 297,5 \Omega \cong 300 \Omega \quad (5)$$

$$\frac{1}{R_{\text{Shunt}}} = \frac{1}{R_{\text{SHUNT}}} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_7} \rightarrow \frac{1}{0,119} = \frac{1}{0,12} + \frac{1}{15} + \frac{1}{300} + \frac{1}{R_7} \rightarrow$$

$$R_7 = 35,7 K\Omega \quad (6)$$

4.10.2. PT1000

$$R=R_0 \cdot (1+\alpha T) \quad (7)$$

On:

- R_0 és la resistència del material de referència, en aquest cas el platí a 0°C 1000 Ω .
- α és la sensibilitat del material, en tant que és platí 0,00385.
- T = temperatura actual.

Per poder mesurar la variació de la resistència de la PT1000 en funció de la temperatura, és necessari crear una font de corrent, en aquest cas mitjançant un amplificador operacional LM358. Es necessitarà també una referència de tensió; s'ha escollit la referència LM385-2.5.

Mitjançant l'ADS1115 es mesurarà la caiguda de tensió a la PT1000.

S'escull un fons d'escala de +/-0,512 V (GAIN=8). Sabent la resolució de l'ADC que és de 16 bits:

Voltatge (V)	Valor ADC
-0,512	0
+0,512	65536

Taula 4.2. Relació entre el voltatge de fons d'escala i el valor del ADC.

A fi que els càlculs resultin més fàcils, s'acotarà els valors de l'ADC perquè només siguin positius; per tant, es restaran 32768 al valor que es rebi de l'ADC.

Voltatge (V)	Valor ADC rectificat
0	0
+0,512	32768

Taula 4.3. Relació entre el voltatge de fons d'escala i el valor del ADC rectificat.

Mitjançant la taula anterior, es pot extreure l'equació següent, la qual resultarà molt útil més endavant:

$$V_{PT1000} = \frac{0,512}{32768} * Valor\ ADC\ rectificat \quad (8)$$

Com la variació de la resistència en funció de la temperatura a una PT1000 és lineal, l'objectiu és trobar una constant, que multiplicada pel valor de l'ADC rectificat doni com a resultat la temperatura a la PT1000.

Es començarà per trobar el valor de l'ADC rectificat que s'obtingria a una temperatura coneguda.

Segons l'equació (7) a 100 °C, la $R_{PT1000} = 1385 \Omega$

Mitjançant la llei d'Ohm, s'obté el voltatge de la PT1000 (V_{PT1000}).

$$R_{PT1000} = V_{PT1000} / I_{PT1000} \quad (9)$$

On:

$$I_{PT1000} = \frac{V_{ref}}{R2} = \frac{2,5 V}{10 K\Omega} = 250 \mu A \quad (10)$$

En aquest punt, restaria aïllar V_{PT1000} de l'equació (9)

$$V_{PT1000} = 346,25 \text{ mV}$$

Mitjançant l'equació (8), sabent que $V_{PT1000} = 346,25 \text{ mV}$, el valor de l'ADC rectificat serà de 22160.

Punt	Temperatura	Valor ADC rectificat
A	0	0
B	100	22160

Taula 4.4. Relació entre la temperatura a la PT1000 i el valor del ADC rectificat.

D'aquesta manera, s'han aconseguit dos punts per poder traçar la recta i trobar l'equació que relacioni el valor de l'ADC rectificat i temperatura.

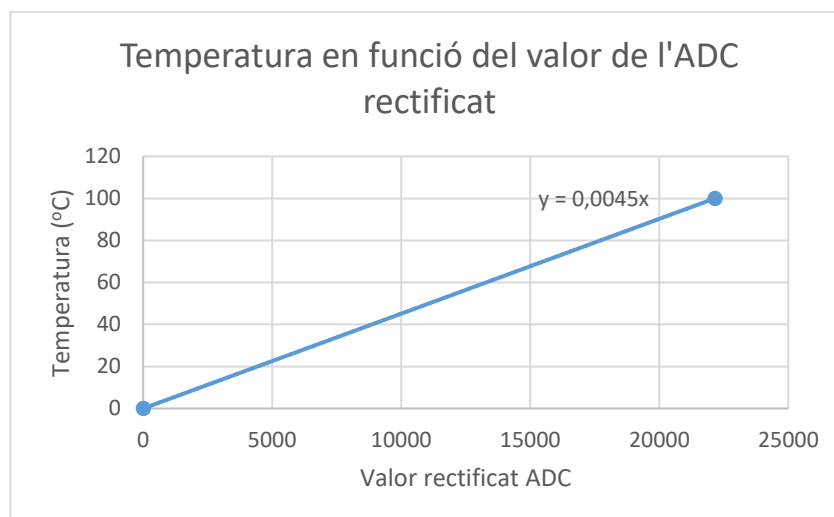


Figura 4.18. Gràfica del valor de l'ADC rectificat en funció de la temperatura.

L'equació resultant serà:

$$\text{Temp}_{\text{PT1000}} = 0,0045 * \text{Valor ADC rectificat} \quad (11)$$

5. Software: programació en Python

A continuació s'explicaran les diferents parts que componen el codi del programa. En l'annex C s'hi pot trobar el codi complet.

```

1 Inicialització de variables.
2 Obtenció de la temperatura en la PT1000.
3 Obtenció de la irradiància solar.
4 Obtenció de la direcció del vent
5 Obtenció de la velocitat del vent
6 Obtenció temperatura i humitat sensor DHT22
7 Obtenció temperatura i pressió sensor BMP280
8 Control de la velocitat del ventilador
9 Accions en cas d'interrupció del teclat

```

Figura 5.1. Seqüència del programa per a la obtenció dels valors

5.1. Inicialització de variables

El primer que cal al començar el programa és inicialitzar les variables. Aquesta acció també serveix per determinar cada variable de quin tipus serà. Pel fet que els ADC i el sensor van pel port I2C s'ha creat una variable d'estat per evitar que es pugui sol·licitar un valor abans d'haver rebut la resposta del sensor anterior. D'aquesta manera, fins no haver rebut la resposta del sensor no es canviarà la variable d'estat.

```

from Adafruit_BME280 import *
import time
import Adafruit_ADS1x15
import RPi.GPIO as GPIO
import Adafruit_DHT
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(24,GPIO.IN) #Se configura el pin 24 como entrada
GPIO.setup(25,GPIO.OUT) #Se configura el pin 25 como salida
#Se inicializa las variables usadas para obtener los valores del ADS1115
Valor_ADC_rectificado=0
temp_PT1000=0
estado=0
ganancia=0

```

```

direccion=0x48
entrada=0
valor1=0
valor2=0
valor3=0
grados=0
#Se inicializa las variables usadas para obtener la velocidad del viento
time1= 0
time2= 0
count= 0
periodo= 0
var_estado=0
sumatorio_ms=0
velocidad_promedio_kmh=0
velocidad_instant_ms=0
velocidad_promedio_ms=0
inputValue = GPIO.input(24)
#Se inicializa las variables para el PWM del driver del ventilador
pwm=GPIO.PWM(25,50)
pwm.start(40)
alerta_sobrettemp=0
#Se inicializa las variables para el sensor DHT22
temp_DHT22=0
humedad=0
#Se inicializa las variables para el sensor BMP280
temp_BMP280=0
presion=0

```

5.2. Obtenció de la temperatura en la PT1000

El primer valor que s'obtindrà és el de la temperatura en la PT1000. Això passarà quan la variable d'estat estigui a 0. Tots el valors dels apartats on s'utilitza el ADS1115 és necessari instal·lar les llibreries disponibles a la web del fabricant Adafruit.

try:

while True:

```

    if (estado==0): #Obtenemos la temperatura en la PT1000
        print (time.strftime("%H:%M:%S-%d/%m/%y"))

```

```
adc = Adafruit_ADS1x15.ADS1115(address=direccion)
ganancia = 8
valor1 = adc.read_adc_difference(3, gain=ganancia) #Para obtener la lectura se tiene que introducir(modulo, ganancia)
#En modo=3 el ADC devuelve el valor diferencial entre el canal 2 y el 3

Valor_ADC_rectificado=Valor1-32768
temp_PT1000 = Valor_ADC_rectificado*0.0045 #Valor constante obtenido en el apartado de calculos
print'Temp_PT1000= {0:0.2f}'.format(temp_PT1000), 'C'
adc.stop_adc()
estado = 1
# Pausamos 100 ms
time.sleep(0.1)
```

5.3. Obtenció de la irradiància solar

Quan la variable d'estat sigui igual a 1 s'obtindrà la irradiància solar. Com s'ha adaptat el hardware per a que els càlculs en aquest apartat per a obtenir la irradiància l'únic que s'ha de fer és dividir el valor del ADC entre 10.

```
if (estado==1): #Obtenemos la irradiancia solar
    adc = Adafruit_ADS1x15.ADS1115(address=direccion)
    ganancia = 16
    entrada = 1
    adc.start_adc(entrada, gain=ganancia)
    valor2 = adc.get_last_result()
    irradiancia = valor2/10
    print'La irradiancia solar es de {0:0.1f}'.format(irradiancia), 'W/m2'
    adc.stop_adc()
    estado = 2
    # Pausamos 100 ms
    time.sleep(0.1)
```

5.4. Obtenció de la direcció del vent

Quan la variable d'estat és igual a 2 el programa mostrarà la direcció del vent en graus.

```
if (estado==2): #Obtenemos la direccion del viento
    adc = Adafruit_ADS1x15.ADS1115(address=direccion)
    ganancia = 1
    entrada = 0
    adc.start_adc(entrada, gain=ganancia)
    valor3 = adc.get_last_result()
```

```

grados = valor3*0.0068*2
print'La direccion del viento es de {0:0.1f}'.format(grados), 'grados'
adc.stop_adc()
estado = 3
# Pausamos 100 ms
time.sleep(0.1)

```

5.5. Obtenció de la velocitat del vent

Quan la variable d'estat és igual a 3 s'obté la velocitat del vent. Aquest apartat el resultat és el la mitjana de de X nombre de valors que es defineix en el tercer condicional.

if (estado==3): #Obtenemos la direccion del viento

```

inputValue = GPIO.input(24)
if(inputValue == True) and (var_estado ==0):
    var_estado=1
    time1=time.time()
    time.sleep(0.02)

if(inputValue == False) and (var_estado ==1):
    time2=time.time()
    periodo=time2-time1
    velocidad_instant_ms=(1/periodo) # para obtener la velocidad se necesita la frecuencia es decir la inversa del periodo
    # realizamos un sumatorio de valores instantaneos de la velocidad
    sumatorio_ms=sumatorio_ms+velocidad_instant_ms
    count=count+1
    var_estado=0
    time.sleep(0.02)

if (count==2):
    velocidad_promedio_ms=(sumatorio_ms/count) # dividimos el sumatorio de valores instantaneos de velocidad
entre el numero de valores obtenidos para obtener el promedio
    velocidad_promedio_kmh=(velocidad_promedio_ms*3.6) # convertimos de m/s a Km/h
    print'La velocidad del viento es de {0:0.1f}'.format(velocidad_promedio_ms),'m/s'
    #print('Equivalente a {0:0.1f}'.format(velocidad_promedio_kmh),'km/h')
    count=0 # reiniciamos variables
    sumatorio_ms=0

```

```
estado=4  
time.sleep(0.02)
```

5.6. Obtenció de la temperatura i humitat de sensor DHT22

Quan la variable d'estat és igual a 4 el sensor DHT22 ens proporciona la temperatura. Això és possible a les llibreries instal·lades del fabricant Adafruit que té disponibles en el seu web.

```
if (estado==4): #Obtenemos la temperatura y la humedad del sensor DHT22
```

```
    sensor = Adafruit_DHT.DHT22  
    pin = 23  
    humedad, temp_DHT22 = Adafruit_DHT.read_retry(sensor, pin)
```

```
    if humedad is not None and temp_DHT22 is not None:  
        print('Humedad= {0:0.1f}%'.format(humedad))  
        print('Temp_DHT22= {0:0.2f}*C'.format(temp_DHT22))  
    else:  
        print('Fallo en el sensor compruebe su estado')
```

```
estado=5  
time.sleep(0.1)
```

5.7. Obtenció de la temperatura i pressió del sensor BMP280

Quan la variable d'estat és igual a 4 ens proporciona la temperatura i la pressió pel port I2C. Al ser un sensor digital no és necessari realitzar cap càlcul a part de passar de Pascals a Hectopascals. De la mateixa manera que el sensor DHT22 això és possible gràcies a les llibreries que el fabricant Adafruit té disponibles al seu web per als seus productes. Com és pot comprovar les llibreries utilitzades són del sensor BME280 que són compatibles amb el sensor BMP280.

```
if (estado==5): #Obtenemos la temperatura y la presion del sensor BMP280
```

```
    sensor = BME280(t_mode=BME280_OSAMPLE_8, p_mode=BME280_OSAMPLE_8, h_mode=BME280_OSAMPLE_8)  
    temp_BMP280 = sensor.read_temperature() #Leemos la temperatura del BMP280  
    pascals = sensor.read_pressure() #Leemos la presion del BMP280 en este caso nos la da en Pascales  
    presion = pascals/100 #convertimos los Pascal a Hectopascal  
    print 'Temp_BMP280= {0:0.3f}*C'.format(temp_BMP280)  
    print 'Presion= {0:0.2f} hPa'.format(presion)
```

```
estado=0
time.sleep(1)
```

5.8. Control del ventilador en funció de la temperatura en la PT1000

S'ha definit 4 rangs de temperatura per a 4 velocitats del ventilador modificant el *Dutty Cycle*. Degut a que per sota del 30% del cicle de treball el ventilador en certes condicions s'atura amb el perill que això comporta s'ha decidit que des del primer moment en que s'executi el programa aquest giri ni que sigui a baixa velocitat.

```
if (temp_PT1000<=20):                #Si la temperatura en el circuito es inferior a 20 grados
    pwm.ChangeDutyCycle(40)           #Dutty cycle del 40%, el ventilador esta al minimo de revoluciones
    pwm.ChangeFrequency(200)

if (temp_PT1000>20) and (temp_PT1000<=40): #Si la temperatura en el circuito esta entre 20 y 40 grados
    pwm.ChangeDutyCycle(60)           #Dutty cycle del 60%
    pwm.ChangeFrequency(200)

if (temp_PT1000>40) and (temp_PT1000<=60): #Si la temperatura en el circuito esta entre 40 y 60 grados
    pwm.ChangeDutyCycle(80)           #Dutty cycle del 80%
    pwm.ChangeFrequency(200)

if (temp_PT1000>60):                 #Si la temperatura en el circuito es superior a 60 grados
    pwm.ChangeDutyCycle(100)          #Dutty cycle del 1000%
    pwm.ChangeFrequency(200)          #La alerta por temperatura excesiva pasa a ON
    alerta_sobrettemp=1

time.sleep(5)
print("")
```

5.9. Accions a realitzar en cas d'interrupció del teclat

Quan el programa s'està executant si és produeix la combinació de tecles Ctrl+C aquest el detecta com una interrupció i realitza les operacions que s'especifiquen.

```
except KeyboardInterrupt: #En el caso que haya una interrupcion del teclado inicializamos las variables que nos interesen
    pwm.stop()
    GPIO.cleanup()
    estado=0
```

5.10. Resultats

Un cop executat el programa anterior mitjançant la consola de la Raspberry a la pantalla s'imprimeixen els resultats. Com és pot comprovar els resultats a nivell local han estat satisfactoris. El programa ens proporciona totes les variables que es volien mesurar amb els decimals corresponents.

```
pi@raspberrypi:~ $ cd TFG
pi@raspberrypi:~/TFG $ sudo python PRINCIPAL.py
20:16:28-01/05/18
Temp_PT1000= 29.35 C
La irradiancia solar es de 75.4 W/m2
La direcccion del viento es de 60.6 grados
La velocidad del viento es de 5.4 m/s
Humedad= 70.7%
Temp_DHT22= 19.10°C
Temp_BMP280= 19.517°C
Presion= 1012.41 hPa
^Cpi@raspberrypi:~/TFG $ sudo python PRINCIPAL.py
20:17:05-01/05/18
Temp_PT1000= 29.17 C
La irradiancia solar es de 75.2 W/m2
La direcccion del viento es de 60.2 grados
La velocidad del viento es de 5.8 m/s
Humedad= 70.7%
Temp_DHT22= 19.10°C
Temp_BMP280= 19.541°C
Presion= 1012.42 hPa
^Cpi@raspberrypi:~/TFG $ sudo python PRINCIPAL.py
20:18:11-01/05/18
Temp_PT1000= 28.34 C
La irradiancia solar es de 74.6 W/m2
```

Figura 5.2. Valors obtinguts del programa.

```
Temp_DHT22= 19.10°C
Temp_BMP280= 19.517°C
Presion= 1012.41 hPa
^Cpi@raspberrypi:~/TFG $ sudo python PRINCIPAL.py
20:17:05-01/05/18
Temp_PT1000= 29.17 C
La irradiancia solar es de 75.2 W/m2
La direcccion del viento es de 60.2 grados
La velocidad del viento es de 5.8 m/s
Humedad= 70.7%
Temp_DHT22= 19.10°C
Temp_BMP280= 19.541°C
Presion= 1012.42 hPa
^Cpi@raspberrypi:~/TFG $ sudo python PRINCIPAL.py
20:18:11-01/05/18
Temp_PT1000= 28.34 C
La irradiancia solar es de 74.6 W/m2
La direcccion del viento es de 59.8 grados
La velocidad del viento es de 4.6 m/s
Humedad= 70.8%
Temp_DHT22= 19.00°C
Temp_BMP280= 19.552°C
Presion= 1012.43 hPa
pi@raspberrypi:~/TFG $ ^C
pi@raspberrypi:~/TFG $ █
```

Figura 5.3. Valors obtinguts del programa .

Hora (hh:mm:ss)	Temp. PT1000 (°C)	Irradiància (W/m ²)	Direcció del vent (graus)	Velocitat del vent (m/s)	Humitat (%)	Temp. DHT22 (°C)	Temp.BMP280 (°C)	Pressió (hPa)
20:16:28	29,35	75,4	60,6	5,4	70,7	19,1	19,51	1012,41
20:17:05	29,17	75,2	60,2	5,8	70,7	19,1	19,54	1012,42
20:18:11	28,34	74,6	59,8	4,6	70,8	19,0	19,55	10012,43

Taula 5.1. Resultats obtinguts.

Conclusions

El projecte ha sigut una oportunitat per comprovar de primera mà tots els passos que s'han de seguir per a muntar una placa que portava tant components SMT com THT. També ha permès treballar dos parts fonamentals en l'enginyeria electrònica el Software i el Hardware.

S'ha aconseguit dissenyar un circuit electrònic mitjançant un programa professional com és Altium Designer. Han sigut moltes hores invertides en saber fer anar aquest programa ja que no s'havia treballat amb ell abans: Buscar llibreries de components, crear aquells que no es troben i posteriorment crear el disseny de la PCB. Després del seu muntatge i posterior verificació que el sistema funcioni sense necessitat de realitzar cap canvi a la PCB ha sigut molt gratificant.

Un altre objectiu clau era la programació en Python mitjançant la Raspberry. Aquest apartat ha sigut especialment dur ja que tot i ser un programa molt intuïtiu el tabulat és molt important alhora de programar. A diferència del llenguatge C aquest no funciona amb parèntesis o claudàtors a l'inici i final dels bucles. Això va provocar tardes senceres solucionant errors. Tot i això, gràcies a aquest programa i el sistema de llibreries ha sigut possible realitzar un codi molt compacte. El resultat ha sigut força satisfactori a nivell local i per accedir de forma remota als arxius s'ha utilitzat el programa Putty.

És necessari tropicalitzar les plaques ja que aquestes estaran durant llargs períodes de temps a l'exterior i tot i que no els hi donarà l'aigua directament la humitat podria fer que els circuits s'oxidessin.

Tot i que pot semblar un projecte molt car a nivell de material s'ha de tenir en compte que només s'han fabricat 2 unitats. Per a series més grans d'unes 100 unitats és podria rebaixar moltíssim aquest preu i oferir ampliacions com per exemple disposar de fins a 8 entrades més analògiques incorporant 2 ADS1115 més en el disseny. Les possibilitats que ofereix i el preu que es podria assolir fa que sigui una alternativa real als *dataloggers* professionals i podrien arribar al gran públic.

Per últim i no menys important és l'objectiu de l'impacte ambiental. Pel que fa a la placa fabricada: els components electrònics que monta, la PCB i l'estany utilitzat tenen el certificat RoHS [14]. Cal destacar que la Raspberry també disposa d'aquest certificat.

Pressupost i/o Anàlisi Econòmica

Els projectes com el que s'ha dut a terme tenen un cost elevat principalment per les hores d'enginyeria que s'han d'invertir per dissenyar una PCB des de zero, programant i també el cost de fabricar el producte final. El pressupost el dividirem en 3 parts:

- Disseny de la PCB:

Concepte	Unitats	€/unitat	Total
<i>Programa Altium Designer*</i>	1	390	390
<i>Hores Enginyeria</i>	150	20	3000
TOTAL			3390 €

** El preu és orientatiu i es correspon a una llicència educativa amb una durada de 12 mesos; en el cas que la llicència fos per ús professional el preu seria molt superior.*

- Fabricació del producte:

En l'Annex 2 hi ha tota la cotització del circuit incloent-hi el material i el cost del muntatge.

Concepte	Unitats	€/unitat	Total
<i>Pantalla de serigrafia</i>	1	200	200
<i>Programació de màquines</i>	1	50	50
<i>Preu del circuit base*</i>	2	201,4	402,8
<i>Preu de la placa del sensor BMP280*</i>	2	20,8	41,6
<i>Preu de la placa del sensor DHT22*</i>	2	20,7	41,4
<i>Preu de la cèl·lula solar</i>	1	23,99	23,99
<i>Preu de l'anemòmetre</i>	1	150	150
TOTAL			909,79 €

** Aquest preu inclou el cost del material i també el cost del muntatge.*

- Programació en Python:

Concepte	Unitats	€/unitat	Total
Software (Python)*	1	0	0
Hores d'enginyeria	200	20	4000
TOTAL			4000 €

* Tot i que el seu cost és zero s'ha considerat afegir-lo al pressupost per agrair la feina de tants desenvolupadors de software que inverteixen innumerables hores en programari lliure.

- Memoria del projecte

Concepte	Unitats	€/unitat	Total
Software (Microsoft Office)	1	99	99
Amortització del portàtil	0,25	1000	250
Impressió de la memòria	1	20	20
Redacció de la memòria	100	15	1500
TOTAL			1869 €

- COST TOTAL DEL PROJECTE:

Concepte	Import
Disseny de la PCB	3390 €
Fabricació del producte	909,79 €
Programació en Python	4000 €
Memòria del projecte	1869 €
TOTAL	10169 €

Bibliografia

- [1] Adafruit. 2018. "ADS1115 16-Bit ADC - 4 Channel with Programmable Gain Amplifier"
<https://www.adafruit.com/product/1085> última consulta 02/05/2018
- [2] Adafruit. 2018. "DHT22 temperature-humidity sensor + extras"
<https://www.adafruit.com/product/385> última consulta 02/05/2018
- [3] Adafruit. 2018. "Adafruit BMP280 I2C or SPI Barometric Pressure & Altitude Sensor"
<https://www.adafruit.com/product/2651> última consulta 02/05/2018
- [4] Altium. 2018. "Altium Designer"
<https://www.altium.com/altium-designer/es/caracter%C3%ADsticas> última consulta 02/05/2018
- [5] Davis instruments. 2018. "Standard Anemometer"
https://www.davisnet.com/product_documents/weather/manuals/07395-032_IM_07911.pdf
última consulta 02/05/2018
- [6] LABFACILITY. 2018. "Platinum sensing resistors"
<http://www.farnell.com/datasheets/1918818.pdf> última consulta 02/05/2018
- [7] Montajes Medyp. 2017. "Línea de montaje SMD"
<http://www.montajes-medyp.com/montajes-smd/montajes-smd-componentes-smd/ia69>
última consulta 02/05/2018
- [8] Raspberry Pi Foundation. 2018. "SO Raspbian"
<https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/> última consulta 02/05/2018
- [9] STMicroelectronics. 2018. "PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVER WITH DIODES"
<https://www.mouser.es/datasheet/2/389/l293d-954810.pdf> última consulta 02/05/2018
- [10] Texas Instruments. 2014. "LMx58-N Low-Power, Dual-Operational Amplifiers"
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm158-n.pdf> última consulta 02/05/2018
- [11] Texas Instruments. 2018. "LMx85-2.5, LM385B-2.5 Micropower Voltage References"
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm385-2.5.pdf> última consulta 02/05/2018
- [12] Tiendaelektron. 2018. "CÉLULA SOLAR CALIBRADA"
<https://tiendaelektron.com/producto/celula-solar-calibrada/> última consulta 02/05/2018
- [13] Würth Elektronik. 2018. "Connectors"
<http://katalog.we-online.com/en/em/browse/connectors> última consulta 02/05/2018
- [14] M^a Teresa Sierra Molina (Universidad Carlos III de Madrid). 2006. "La Directiva RoHS y sus implicaciones en la industria eléctrica/electrónica."



Annex A: BOM del projecte

A1. Circuit Base

Posició	Descripció	Ordercode	Fabricante	Qty
J1, J2, J3, J4, J5, J6, J7, J8, J9, J10, J11, J12	Conector regleta 3 vias R=5,08	691236510003	Würth	12
J13	Tira de pines simple 2X20	61304021821	Würth	1
ADC_0, ADC_1	Tira de pines simple 1X10	61301011821	Würth	2
PT1000	Tira de pines simple 1X2			1
S1, S2	Conector RJ45 THT	615008143521	Würth	2
S3	Conector RJ11 THT	615004143821	Würth	1
FUN	Conector JST NH R=2,5mm	B2P-SHF-1AA (LF) (SN)	JST	1
R_SHUNT	Resistencia 0,12R 2512 1W 1%	RL2512FK-070R12L	Yageo	1
R1, R2	Resistencia 100K 0805 1% 125mW	0805S8F1003T5E	Royal Ohm	2
R3, R4	Resistencia 10K 0805 1% 125mW	MC01W0805110K	Multicomp	2
R5	Resistencia 0805 15R 1% 250mW	RK73H2ATTE15R0F	KOA	1
R6	Resistencia 0805 300R 1% 125mW	CRCW0805300RFKEA	Vishay	1
R7	Resistencia 0805 35K7 1%	CR0805-FX-3572ELF	Bourns	1
C1, C2	Condensador ceramico 0805 X7R 50V			2
IC1	Amplificador operacional SMD LM358 SO-8	LM358DT	STMicroelectronics	1
IC2	Referencia de tension SMD 2,5V SO-8	LM385DR-2-5	Texas Instruments	1
IC3	Driver motor 4 salidas SMD SO-20	L293DD	STMicroelectronics	1
	Sensor RTD, Clase B -50 -500 °C 1 KOhm	PT1000	LABFACILITY	1
	Placa evaluación	Raspberry pi 3 Modelo B	Raspberry	1
	ADC 16bits con ganancia programable	ADS1115	Adafruit	2
PCB	Printed circuit Board			1

A2. Placa sensor BMP280

Posició	Descripció	Ordercode	Fabricante	Comment	Qty
J1, J2, J3, J4	Conector regleta 2 vias R=2,52	282834-2	TE CONNECTIVITY		4
J5	Tira de pines simple 1X7				1
S1	Sensor I2C Temperatura y presión	BMP280	Adafruit		1
	Separador Hexagonal M3 H=10mm	SP1110			3
	Tuerca M3 H=2,5mm				3
	Caja ABS 50X72mm Negra				1
	Conector aereo Macho RJ45 crimpado	920815			1
	Cable Ethernet UTP CAT5E	MC815BOX125	MC		1
PCB	Placa de topos Fibra 78X90mm Paso 2,54mm	CT2	REPRO		0,5

A3. Placa sensor DHT22

Posición	Descripción	Ordercode	Fabricante	Comment	Qty
J1, J2, J3, J4	Conector regleta 2 vías R=2,52	282834-2	TE CONNECTIVITY		4
S2	Sensor Temperatura y humedad	DHT22	Adafruit		1
R1	Resistencia 10K THT 0,6W 1%	MF006FF1002A50	Royal Ohm		1
	Separador Hexagonal M3 H=10mm	SP1110			3
	Tuerca M3 H=2,5mm				3
	Caja ABS 50X72mm Negra				1
	Conector aereo Macho RJ45 crimpado	920815			1
	Cable Ethernet UTP CAT5E	MC815BOX125	MC		1
PCB	Placa de topos Fibra 78X90mm Paso 2,54mm	CT2	REPRO		0,5

Annex B: Cost del material del projecte

B1. Cost del material i del muntatge Circuit Base

						2				
Posición	Descripción	Ordercode	Fabricante	Qty	TOTAL	€/ud	Importe	Proveedor	Ref Proveedor	Comment
J1, J2, J3, J4, J5, J6, J7, J8, J9, J10, J11, J12	Conector regleta 3 vías R=5,08	691236510003	Würth	12	24	2,66	63,84	Digikey	732-10996-ND	
J13	Tira de pines simple 2X20	61304021821	Würth	1	2	0,6	1,2	Medyp		
ADC_0, ADC_1	Tira de pines simple 1X10	61301011821	Würth	2	4	0,56	2,24	Digikey	732-2859-ND	
PT1000	Tira de pines simple 1X2			1	2	0,1	0,2	Medyp		
S1, S2	Conector RJ45 THT	615008143521	Würth	2	4	1,35	5,4	Würth	615008143521	
S3	Conector RJ11 THT	615004143821	Würth	1	2	1,39	2,78	Farnell	2827820	
FUN	Conector JST NH R=2,5mm	B2P-SHF-1AA (LF) (SN)	JST	1	2	0,0413	0,0826	Medyp	640002159	
R_SHUNT	Resistencia 0,12R 2512 1W 1%	RL2512FK-070R12L	Yageo	1	2	0,306	0,612	Mouser	603-RL2512FK-070R12L	
R1, R2	Resistencia 100K 0805 1% 125mW	0805S8F1003T5E	Royal Ohm	2	4	0,0006	0,0024	Medyp	100000460	
R3, R4	Resistencia 10K 0805 1% 125mW	MC01W0805110K	Multicomp	2	4	0,0008	0,0032	Medyp	100001284	
R5	Resistencia 0805 15R 1% 250mW	RK73H2ATTE15R0F	KOA	1	2	0,018	0,036	Mouser	660-RK73H2ATTE15R0F	
R6	Resistencia 0805 300R 1% 125mW	CRCW0805300RFKEA	Vishay	1	2	0,019	0,038	Mouser	71-CRCW0805300RFKEA	
R7	Resistencia 0805 35K7 1%	CR0805-FX-3572ELF	Bourns	1	2	0,02	0,04	Mouser	652-CR0805FX-3572ELF	
C1, C2	Condensador ceramico 0805 X7R 50V			2	4		0			NO MOUNT
IC1	Amplificador operacional SMD LM358 SO-8	LM358DT	STMicroelectronics	1	2	0,1	0,2	Medyp	220002057	
IC2	Referencia de tension SMD 2,5V SO-8	LM385DR-2-5	Texas Instruments	1	2	0,23	0,46	Medyp	220001593	
IC3	Driver motor 4 salidas SMD SO-20	L293DD	STMicroelectronics	1	2	2,9	5,8	Farnell	2762684	
	Sensor RTD, Clase B -50-500 °C 1 KOhm	PT1000	LABFACILITY	1	2	5,43	10,86	Farnell	7745655	
	Placa evaluación	Raspberry pi 3 Modelo B	Raspberry	1	2	33,35	66,7	Farnell	2525226	
	ADC 16bits con ganancia programable	ADS1115	Adafruit	2	4	12,05	48,2	Digikey	1528-1461-ND	
PCB	Printed circuit Board			1	2	64,04	128,08	Safe PCB	920000161	

B2. Cost del material i del muntatge placa sensor BMP280

Posición	Descripción	Ordercode	Fabricante	Qty	TOTAL	€/ud	Importe	Proveedor	Ref Proveedor	Comment		
J1, J2, J3, J4	Conector regleta 2 vías R=2,52	282834-2	TE CONNECTIVITY	4	8	0,391	3,128	Farnell	2112482			
J5	Tira de pines simple 1X7			1	2	0,1	0,2	Medyp				
S1	Sensor I2C Temperatura y presión	BMP280	Adafruit	1	2	8,02	16,04	Digikey	1528-1358-ND			
	Separador Hexagonal M3 H=10mm	SP1110		3	6	0,0492	0,2952	Ondaradio	SP1110			
	Tuerca M3 H=2,5mm			3	6	0,0033	0,0198	Medyp	090002169			
	Caja ABS 50X72mm Negra			1	2	1	2	Medyp				
	Conector aereo Macho RJ45 crimpado	920815		1	2	0,431	0,862	Diotronic	920815			
	Cable Ethernet UTP CAT5E	MC815BOX125	MC	1	2	0,36	0,72	Diotronic	MC817BOX			
PCB	Placa de topos Fibra 78X90mm Paso 2,54mm	CT2	REPRO	0,5	1	3,34	3,34	Diotronic	CT2			
								Cantidad	2			
								Material	13,3025	26,61		
								Montaje	7,5	15,00		
								Total	20,8025	41,61		
								Comp	Pcomp	Punit	Ptot	
								THT	6	1	6	12,00
								OTROS	6	0,5	1,5	3,00
										7,5		15,00

B3. Cost del material i del muntatge placa sensor DHT22

Posición	Descripción	Ordercode	Fabricante	Qty	TOTAL	€/ud	Importe	Proveedor	Ref Proveedor	Comment		
J1, J2, J3, J4	Conector regleta 2 vías R=2,52	282834-2	TE CONNECTIVITY	4	8	0,391	3,128	Farnell	2112482			
S2	Sensor Temperatura y humedad	DHT22	Adafruit	1	2	8,02	16,04	Digikey	1528-1504-ND			
R1	Resistencia 10K THT 0,6W 1%	MF006FF1002A50	Royal Ohm	1	2	0,001	0,002	Medyp	500001690			
	Separador Hexagonal M3 H=10mm	SP1110		3	6	0,0492	0,2952	Ondaradio	SP1110			
	Tuerca M3 H=2,5mm			3	6	0,0033	0,0198	Medyp	090002169			
	Caja ABS 50X72mm Negra			1	2	1	2	Medyp				
	Conector aereo Macho RJ45 crimpado	920815		1	2	0,431	0,862	Diotronic	920815			
	Cable Ethernet UTP CAT5E	MC815BOX125	MC	1	2	0,36	0,72	Diotronic	MC817BOX			
PCB	Placa de topos Fibra 78X90mm Paso 2,54mm	CT2	REPRO	0,5	1	3,34	3,34	Diotronic	CT2			
								Cantidad	2			
								Material	13,2035	26,41		
								Montaje	7,5	15,00		
								Total	20,7035	41,41		
								Comp	Pcomp	Punit	Ptot	
								THT	6	1	6	12,00
								Otros	6	0,5	1,5	3,00
										7,5	15,00	

Annex C: Codi íntegre en Python

```

from Adafruit_BME280 import *
import time
import Adafruit_ADS1x15
import RPi.GPIO as GPIO
import Adafruit_DHT
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(24,GPIO.IN) #Se configura el pin 24 como entrada
GPIO.setup(25,GPIO.OUT) #Se configura el pin 25 como salida
#Se inicializa las variables usadas para obtener los valores del ADS1115
Valor_ADC_rectificado=0
temp_PT1000=0
estado=0
ganancia=0
direccion=0x48
entrada=0
valor1=0
valor2=0
valor3=0
grados=0
#Se inicializa las variables usadas para obtener la velocidad del viento
time1= 0
time2= 0
count= 0
periodo= 0
var_estado=0
sumatorio_ms=0
velocidad_promedio_kmh=0
velocidad_instant_ms=0
velocidad_promedio_ms=0
inputValue = GPIO.input(24)
#Se inicializa las variables para el PWM del driver del ventilador
pwm=GPIO.PWM(25,50)
pwm.start(40)
alerta_sobrettemp=0
#Se inicializa las variables para el sensor DHT22
temp_DHT22=0
humedad=0
#Se inicializa las variables para el sensor BMP280
temp_BMP280=0
presion=0
try:
    while True:
        if (estado==0): #Obtenemos la temperatura en la PT1000
            print (time.strftime("%H:%M:%S-%d/%m/%y"))
            adc = Adafruit_ADS1x15.ADS1115(address=direccion)
            ganancia = 8
            valor1 = adc.read_adc_difference(3, gain=ganancia) #Para obtener la lectura se tiene que introducir(modos, ganancia)
                                                                #En modo=3 el ADC devuelve el valor diferencial entre el canal 2 y el 3

            Valor_ADC_rectificado=Valor1-32768
            temp_PT1000 = Valor_ADC_rectificado*0.0045 #Valor constante obtenido en el apartado de calculos
            print'Temp_PT1000= {0:0.2f}'.format(temp_PT1000), 'C'
            adc.stop_adc()
            estado = 1
            # Pausamos 100 ms
            time.sleep(0.1)

```

```

if (estado==1): #Obtenemos la irradiancia solar
    adc = Adafruit_ADS1x15.ADS1115(address=direccion)
    ganancia = 16
    entrada = 1
    adc.start_adc(entrada, gain=ganancia)
    valor2 = adc.get_last_result()
    irradiancia = valor2/10
    print'La irradiancia solar es de {0:0.1f}'.format(irradiancia), 'W/m2'
    adc.stop_adc()
    estado = 2
    # Pausamos 100 ms
    time.sleep(0.1)

if (estado==2): #Obtenemos la direccion del viento
    adc = Adafruit_ADS1x15.ADS1115(address=direccion)
    ganancia = 1
    entrada = 0
    adc.start_adc(entrada, gain=ganancia)
    valor3 = adc.get_last_result()
    grados = valor3*0.0068*2
    print'La direccion del viento es de {0:0.1f}'.format(grados), 'grados'
    adc.stop_adc()
    estado = 3
    # Pausamos 100 ms
    time.sleep(0.1)
if (estado==3): #Obtenemos la direccion del viento

    inputValue = GPIO.input(24)
    if(inputValue == True) and (var_estado==0):
        var_estado=1
        time1=time.time()
        time.sleep(0.02)

    if(inputValue == False) and (var_estado ==1):
        time2=time.time()
        periodo=time2-time1
        velocidad_instant_ms=(1/periodo) # para obtener la velocidad se necesita la frecuencia es decir la inversa del periodo
        # realizamos un sumatorio de valores instantaneos de la velocidad
        sumatorio_ms=sumatorio_ms+velocidad_instant_ms
        count=count+1
        var_estado=0
        time.sleep(0.02)

    if (count==2):
        velocidad_promedio_ms=(sumatorio_ms/count) # dividimos el sumatorio de valores instantaneos de velocidad
entre el numero de valores obtenidos para obtener el promedio
        velocidad_promedio_kmh=(velocidad_promedio_ms*3.6) # convertimos de m/s a Km/h
        print'La velocidad del viento es de {0:0.1f}'.format(velocidad_promedio_ms),'m/s'
        #print('Equivalente a {0:0.1f}'.format(velocidad_promedio_kmh),'km/h')
        count=0 # reiniciamos variables
        sumatorio_ms=0
        estado=4
        time.sleep(0.02)
if (estado==4): #Obtenemos la temperatura y la humedad del sensor DHT22
    sensor = Adafruit_DHT.DHT22
    pin = 23
    humedad, temp_DHT22 = Adafruit_DHT.read_retry(sensor, pin)

    if humedad is not None and temp_DHT22 is not None:

```

```
    print'Humedad= {0:0.1f}%'.format(humedad)
    print('Temp_DHT22= {0:0.2f}*C'.format(temp_DHT22))
else:
    print('Fallo en el sensor compruebe su estado')

estado=5
time.sleep(0.1)

if (estado==5): #Obtenemos la temperatura y la presion del sensor BMP280
    sensor = BME280(t_mode=BME280_OSAMPLE_8, p_mode=BME280_OSAMPLE_8, h_mode=BME280_OSAMPLE_8)
    temp_BMP280 = sensor.read_temperature() #Leemos la temperatura del BMP280
    pascals = sensor.read_pressure() #Leemos la presion del BMP280 en este caso nos la da en Pascales
    presion = pascals/100 #convertimos los Pascal a Hectopascal
    print 'Temp_BMP280= {0:0.3f}*C'.format(temp_BMP280)
    print 'Presion= {0:0.2f} hPa'.format(presion)
    estado=0
    time.sleep(1)

if (temp_PT1000<=20): #Si la temperatura en el circuito es inferior a 20 grados
    pwm.ChangeDutyCycle(40) #Duty cycle del 40%, el ventilador esta al mínimo de revoluciones
    pwm.ChangeFrequency(200)

if (temp_PT1000>20) and (temp_PT1000<=40): #Si la temperatura en el circuito esta entre 20 y 40 grados
    pwm.ChangeDutyCycle(60) #Duty cycle del 60%
    pwm.ChangeFrequency(200)

if (temp_PT1000>40) and (temp_PT1000<=60): #Si la temperatura en el circuito esta entre 40 y 60 grados
    pwm.ChangeDutyCycle(80) #Duty cycle del 80%
    pwm.ChangeFrequency(200)

if (temp_PT1000>60): #Si la temperatura en el circuito es superior a 60 grados
    pwm.ChangeDutyCycle(100) #Duty cycle del 1000%
    pwm.ChangeFrequency(200) #La alerta por temperatura excesiva pasa a ON
    alerta_sobrettemp=1

time.sleep(5)
print("")

except KeyboardInterrupt: #En el caso que haya una interrupcion del teclado inicializamos las variables que nos interesen
    pwm.stop()
    GPIO.cleanup()
    estado=0
```

Annex D: Manual d'usuari

Per al següent manual es suposa que la Raspberry ja porta la targeta micro sd amb Sistema Operatiu, les llibreries necessàries instal·lades i el programa principal.

- El primer que cal fer és connectar la Raspberry a la placa del projecte mitjançant la tira de pins de 2X20 i collar els dos cargols mètric 3 per a que quedin unides.
- En segon lloc és connectaran tots els perifèrics a la Raspberry (teclat, ratolí, monitor...).
- El següent pas és connectar tots els sensors.
- Ara si es pot connectar el cable micro USB per alimentar la Raspberry y també la placa.
- Quan al monitor aparegui l'escriptori es procedirà a executar el programa. Per a executar-lo s'ha d'obrir la consola de la Raspberry i executar les següents comandes:
- `cd TFG` (Aquesta comanda obre la carpeta TFG dins la carpeta principal de la Raspberry)
- `sudo python PRINCIPAL.py` (Aquesta comanda executa el programa principal mitjançant la aplicació Python)
- Un cop s'han executat aquestes dos ordres el programa ja hauria de funcionar i es pot veure a la consola cada 4 segons els valors dels diferents sensors.

Annex E: Plànol del esquema del circuit

